

Acta del  I Encuentro Nacional
sobre **Ciudad, Arquitectura y**
Construcción Sustentable

23 al 27
mayo
2016 Facultad de Arquitectura
y Urbanismo UNLP
La Plata | Argentina

ORGANIZAN

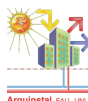


facultad de
arquitectura
y urbanismo



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

capbauno
Colegio de Arquitectos
Provincia de Buenos Aires
Distrito Uno



PATROCINAN



CIC COMISIÓN DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable



Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de La Plata
2016

Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable

Compiladores

Jorge D. Czajkowski Analía F. Gómez

Coordinador

Mauro G. García Santa Cruz

Editores

| | |
|------------------------|----------------------------|
| Brenda T. Czajkowski | David E. Basualdo |
| María de la Paz Diulio | Robert D. Nieto Jimenez |
| Gabriela Reus Netto | Mauro G. García Santa Cruz |

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de La Plata
2016

Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable / Jorge D. Czajkowski ... [et.al.]; compilado por Jorge D. Czajkowski y Analía F. Gómez; coordinación a cargo de Mauro G. García Santa Cruz. - 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2016.

650 p. 21,0 x 29,7 cm.

ISBN en trámite

1. Ciudad. 2. Arquitectura. 3. Construcción Sustentable. I. Czajkowski, Jorge D. II. Czajkowski, Jorge D., comp. III. Gómez, Analía F., comp. IV. García Santa Cruz, Mauro G., coord.

CDD

Fecha de catalogación: 20/05/2016

© de los textos y las ilustraciones: sus autores.

Las opiniones expresadas pertenecen a los autores de los textos.

Editado por LAYHS FAU UNLP

Calle 47 Nro 162 | B1900GGD | La Plata, Buenos Aires, ARGENTINA

Tel. +54 221 4236587/90 Int. 255 | layhs@fau.unlp.edu.ar

Diseño de portada: Brenda T. Czajkowski

Diseño interior y diagramación: Mauro G. García Santa Cruz, Brenda T. Czajkowski, María de la Paz Diulio

1ª edición, 2016.

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Libro de edición Argentina.

ISBN (versión impresa)

(versión digital)

“No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11723 y 25446.”

Índice

| | |
|---|------------|
| Índice..... | 7 |
| Prólogo | 11 |
| Agradecimientos | 13 |
| Presentación | 14 |
| Comité Organizador | 16 |
| Comité Científico | 16 |
| 01. Sustentabilidad Urbana | 19 |
| Transformación sostenible del Espacio Público en barrios del Gran Santiago. El caso del Barrio San Gregorio, Santiago de Chile | 21 |
| La territorialidad del agua. Aportes para el desarrollo sustentable del Área Metropolitana de Mendoza | 33 |
| Índice de sostenibilidad en el periurbano de Mar del Plata | 45 |
| Sustentabilidad de las Formas de Crecimiento Urbano en el Área Metropolitana de Buenos Aires | 57 |
| El Proyecto de Paisaje como Sustentabilidad Urbana: Caso la Cuenca del Gato..... | 69 |
| Vegetación y confort en espacios públicos urbanos. Análisis comparativo de plazas de la ciudad de Rosario..... | 81 |
| ¿En qué medida la forma urbana afecta al comportamiento térmico exterior? Un estudio para reducir la isla de calor urbana en una ciudad árida. | 91 |
| 03. Paisajes sustentables..... | 103 |
| Diseño eficiente de parques en ciudades de zonas áridas. Confort térmico y clima urbano | 105 |
| 04. Arquitectura Bioclimática y Sustentabilidad | 117 |
| Diseño de vivienda para la ciudad de Córdoba, Argentina. Simulación energética y optimización | 119 |
| Escuela Bioclimática y Sustentable SECUNDARIA N° 39, Villa de Antofagasta de la Sierra, CATAMARCA | 131 |
| Comportamiento térmico energético de viviendas urbanas en Mendoza y propuestas para alcanzar las bases de NZEB..... | 143 |
| Espacios de transición y clima luminoso regional, potenciales barreras de visión funcional | 155 |
| Vivienda sustentable para un área rural de la provincia de Tucumán | 167 |
| Sala Multipropósito Bioclimática..... | 179 |
| Evaluación de confort visual en escenas con iluminación natural directa | 189 |
| 05. Eficiencia energética edilicia | 201 |

| | |
|---|------------|
| Relevancia de la materialidad de la envolvente exterior en el diseño edilicio energético sustentable en clima cálido | 203 |
| Reflexiones sobre el nivel de eficiencia energética de los edificios en Argentina y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero | 213 |
| Comportamiento higrotérmico y energético en período estival de un edificio escolar típico en la ciudad de San Juan, Argentina | 221 |
| Análisis térmico-energético estival de tipología FONAVI y vivienda bioclimática en la ciudad de San Juan, Argentina | 233 |
| Rendimiento térmico de cubiertas verdes sobre techo de chapa en la Ciudad de Córdoba – Argentina..... | 243 |
| Cubiertas verdes en zonas áridas. Su eficiencia como estrategia de ahorro energético en verano e invierno. | 255 |
| Impacto de los Inputs de Marcos de Ventanas en EnergyPlus en la Estimación de Eficiencia Energética de Edificios..... | 267 |
| Impacto de la configuración espacial de patios urbanos en sus condiciones de asoleamiento. Análisis y evaluación del estado del conocimiento y su aplicación al caso de Mendoza | 279 |
| Auditoría Energética y Ambiental de una Vivienda Unifamiliar “Tipo Cajón” ubicada en la ciudad de La Plata, Buenos Aires | 291 |
| Eficiencia Energética en Escuela Rural de Pellegrini, Santiago del Estero..... | 303 |
| 07. Patrimonio cultural y sustentabilidad | 315 |
| Observatorio para la Gestión Patrimonial de Territorios Rurales de Oasis Andinos..... | 317 |
| Turismo alternativo. Estrategia para el desarrollo sostenible desde el aprovechamiento geotérmico. Departamento Iglesia, Provincia San Juan | 327 |
| 08. Conservación preventiva en Museos, Bibliotecas y Archivos..... | 339 |
| Definición de parámetros higrotérmicos locales para conservación preventiva en edificios culturales | 341 |
| Estudio interdisciplinario de diagnóstico ambiental para la conservación preventiva en el Museo de La Plata | 351 |
| El monitoreo ambiental edilicio como estrategia de conservación preventiva. Estudio del caso del Museo de Arte Contemporáneo Beato Angélico | 363 |
| 09. Evaluación y certificación de sustentabilidad | 375 |
| Evaluación de la climatización en locales comerciales, integrando técnicas de termografía, simulación y modelado por Elementos Finitos. Caso Tienda Caracol | 377 |
| Herramientas de Evaluación de la Sustentabilidad Edilicia. Análisis Comparativo desde la Perspectiva Argentina | 389 |
| Evaluación de los indicadores de desempeño en edificios del Mercosur | 401 |
| 10. Modelización y simulación | 411 |
| Optimización de Consumo Energético de un Modelo de Diseño Paramétrico | 413 |
| Potencial de las Herramientas de Simulación para la Planificación Sustentable del Desarrollo Urbano | 425 |
| Modelo de simulación aplicado a territorios vulnerables..... | 437 |
| 11. Materiales y técnicas de construcción sustentable..... | 449 |
| Análisis de resistencias térmicas de muros exteriores en cinco locales, empleo de productos en base a hormigones que incorporan residuos..... | 451 |
| Bloque de hormigón liviano con agregados reciclados apto para generar una huerta vertical..... | 463 |
| Manos de tierra: Recuperando saberes en territorios vulnerables | 475 |
| Hormigones sustentables, tratamientos sobre agregados reciclados | 485 |
| 12. Gestión de los residuos de construcción..... | 497 |
| Sistema BIM de cuantificación automática de los residuos de construcción y demolición. Método de transferencias ponderadas de la medición | 499 |
| 13. Sistemas e instalaciones sustentables..... | 509 |

| | |
|---|------------|
| Sistema de implementos para baños secos. Inodoro y cámara de almacenamiento/tratamiento | 511 |
| 14. Integración de Energías Renovables | 517 |
| Las barreras que limitan la generación energética residencial en la estructura urbana actual Argentina | 519 |
| Dificultades de la integración de las energías alternativas a la arquitectura | 531 |
| 15. Sustentabilidad en las políticas públicas y legislación | 543 |
| Incorporación de exigencias sobre eficiencia energética edilicia. Normativa caso Rosario | 545 |
| Desarrollo urbano sostenible de áreas de piedemonte. El caso del Área Metropolitana de Mendoza | 555 |
| Puntos de ruido en San Miguel de Tucumán, investigación, evaluación y recomendaciones | 567 |
| 17. Educación y formación en sustentabilidad | 579 |
| Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo: Iniciativas del CPAU en la Ciudad de Buenos Aires | 581 |
| Evaluación de Sustentabilidad del Hábitat Residencial Articulando Enfoques “Morfológico y Bioclimático” | 591 |
| Modelado térmico-energético edilicio como instrumento didáctico: Aplicación práctica en Asignatura de Arquitectura Sustentable | 603 |
| Evaluación del dictado del módulo Construcción Sustentable en una Maestría Interdisciplinaria | 615 |
| Hacia un diseño constructivo responsable El desafío de materializar la arquitectura en el mundo que viene | 623 |
| Mejoramiento del hábitat precario | 635 |
| Autores | 645 |

Prólogo

Hemos desarrollado una cultura basada en el uso intensivo de la energía que mayoritariamente obtuvimos de combustibles fósiles. Esto llevó a que las emisiones de gases de efecto invernadero impactaran en la atmósfera al punto de que el hombre modificó el clima en lo que conocemos como "cambio climático".

En la última década del siglo XX académicos y políticos se han reunido para tratar este problema en las Conferencias sobre Cambio Climático. En una breve retrospectiva, estas reuniones inician con la primera Conferencia Mundial sobre el Clima en 1979. En 1988 se establece el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). En 1995 Berlín es sede de la primera Conferencia de las Partes COP 1, dos años después en Kyoto se logra formalizar un Protocolo por el cual se alcanzan acuerdos, aunque sin establecer obligaciones a los Estados. Continúan las reuniones hasta la gran cumbre de 2015 conocida como la COP 21 realizada en París. Sucedieron valiosos avances en lo político, económico, productivo y más importante aún, en la conciencia de la sociedad.

Uno de los aspectos del problema del cambio climático concierne a nuestro campo de acción, relacionado con la construcción y mantenimiento del hábitat humano. A pesar de que estudios difieren en nuestro grado de responsabilidad, puede citarse que del 35% al 50% de las emisiones GEI se deben al sector construcciones, esto no es poco y buscamos asumirlo como una responsabilidad.

Dada la relación entre responsabilidad profesional e incumbencias otorgadas por el Estado, vemos que se encuentran: "diseñar, proyectar, dirigir y ejecutar la concreción de los espacios destinados al hábitat humano"; que junto a otras 19 incumbencias relacionadas con la primera, suman: medir, estudiar, calcular, controlar, planificar, investigar, elaborar normas legales, relevar, tasar, valuar, peritar (Res MEyJN N°133/87) y desde 2006 atender a la higiene y seguridad de obras de arquitectura. Pero en la formación de los profesionales el ambiente y la energía no son variables de tratamiento obligatorio.

El ejercicio de los profesionales de la arquitectura y la construcción llevó a que la humanidad avance sin ser consciente del impacto que podría causar su "habitar". Hoy vemos que dicho impacto existe, que es aparentemente elevado y que podría calificarse de sostenido a permanente en tiempos humanos. Esto último dicho a modo de hipótesis ya que cada año, con inversión en ciencia y tecnología, se modifica el nivel de certeza. Pero prácticamente ningún país niega el cambio climático, o la necesidad de mitigar impactos modificando hábitos y costumbres, buscando utilizar energías limpias, apelando a la eficiencia energética y experimentando con nuevos o antiguos materiales.

En este escenario el equipo de investigación del Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable, el LAyHS como todos lo conocen, se propuso el reto de organizar un Encuentro que pudiera reunir a académicos, investigadores, alumnos, profesionales colegiados, empresarios, políticos, activistas, emprendedores en un mismo lugar y tiempo para debatir proyectos, ideas y realizaciones. Además, y luego de largas negociaciones con el CAPBA D1 y con las Empresas que nos acompañan, pudimos consensuar la implementación un Premio a los mejores trabajos que propongan o hayan materializado alumnos y graduados de todo el país. Para premiarlos por sus aportes en la mitigación de los efectos del cambio climático, se les concederán becas para seminarios y las Carreras de Especialización y Maestría en Arquitectura y Hábitat Sustentable.

Empresas como Saint Gobain Argentina S.A., Rheem, Ekoglass, Inrots Sudamericana, Knauf, Technal y Roca confiaron en la propuesta, acompañando el desafío y dictando charlas técnicas junto a reconocimientos especiales. Instituciones como la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), la Agencia Nacional para la Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) apoyaron económicamente la realización del evento. Numerosas entidades académicas, gubernamentales y no gubernamentales del país y el exterior se sumaron con auspicios y adhesiones.

Esto implica que hay vocación de modificar conductas y apoyar a quienes desean trabajar por un hábitat construido y ciudades con mayor grado de sustentabilidad en lo territorial, social y económico. Alcanzamos a percibir que el futuro nos depara momentos duros, donde deberemos adaptarnos al cambio que hemos generado en el clima, pero también esperanzados ya que hemos comenzado a cambiar por el bien de nuestros descendientes.

Quizás este no sea un primer Encuentro, ya que hay antecedentes de reuniones que datan de mediados de los ´70 del siglo pasado. O de visionarios que ya a mediados de los ´30 hablaban de la relación entre la arquitectura y el clima. Pero nunca al grado de debatir con algún valor de certeza, que la arquitectura y las construcciones impactarían a la humanidad. Con este espíritu de bien común nos reunimos en este, el Primer Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable.

No en cualquier ciudad, seremos anfitriones en la Ciudad de La Plata, que nació en una época donde las ciudades crecían sin control, con problemas de infraestructura en cuanto a transporte, salubridad, producción, urbanos o edificios. De esta oscuridad surge desde el lejano sur una propuesta con un nuevo modelo de concebir una ciudad, que sea reflejo del espíritu republicano, que sea soleada y luminosa, ventilada e higiénica, que cuente con los mejores avances tecnológicos de su época: traza ordenada, grandes edificios públicos, calles y avenidas arboladas con amplias aceras, desagües pluviales y cloacales, un puerto y una red de tranvías, gas por red, energía eléctrica, comunicaciones, plazas y parques equidistantes, alumbrado público, entre otros avances. Ciudad que surgió de un tablero y de un fuerte compromiso político, ... y fue reconocida. Pedro Benoit recibió una medalla de oro de manos del gran visionario del siglo XIX, Julio Verne en la Exposición Internacional de París en 1889. Así la "France-Ville" de la novela "Los 500 millones de la Begún" se convertía en realidad.

Que esta osadía revolucionaria, en un mismo lugar pero un siglo después, nos inspire e impacte positivamente para imaginar las ciudades del cambio climático.

Sean bienvenidos al ENCACS 2016, tendremos mucho trabajo por delante, un país, su gente (y por qué no la humanidad) nos necesita y debemos ayudar al necesario cambio por el bien común.

Dr. Ing. Arq. Jorge Daniel Czajkowski

Presidente de ENCACS 2016

Agradecimientos

Llegar a organizar un evento nacional es un gran desafío y solo es posible con la participación de un gran número de personas e instituciones. Este Encuentro no hubiera sido posible sin el compromiso de pasantes, becarios, doctorandos, docentes y alumnos, entre los que puedo citar a María de la Paz Diulio, Gabriela Reus Netto, David Basualdo, Robert Nieto Jimenez, Jimena García Santa Cruz, Patricia Camporeale, Mauro García Santa Cruz, Brenda Czajkowski, María Czajkowski, Roberto Berardi, Guillermo Mariano, Ana Paula Amado y Analía Gómez, entre otros. En este mismo grupo es importante reconocer el apoyo incondicional que desde un principio nos brindaron el Arq. Fernando Gandolfi, Decano de la FAU UNLP y su equipo de gestión, la Arq. María Luisa Cerutti, Prosecretaria de Bienestar Universitario de la UNLP, y el Arq. Guillermo Moretto, Presidente del CAPBA D1, junto a su equipo de gestión.

Este evento no sería posible sin el apoyo económico de instituciones de ciencia y tecnología como la *Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)*, el *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)*, la *Agencia Nacional para la Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT)* y la *Universidad Nacional de La Plata (UNLP)*

Cuando finalizaba 2015 tuvimos el primer llamado del Ing. Darío Mislej de INROTS que confirmaba su participación, luego el Lic. Pablo Messineo de Isover Saint-Gobain se comprometió personalmente a ser Main Sponsor, nuestro eterno agradecimiento por su confianza en nosotros. Asimismo no podemos dejar de agradecer a Rheem, Ekoglass, Knauf, Technal, Roca, Ideal, Enersol y Gensolar, que aceptaron el desafío de trabajar junto con nosotros en este Encuentro.

Un evento de estas características se sustenta en el voluntariado y tiempo dedicado sin retribución, más que el reconocimiento. En esta categoría entran los conferencistas invitados del país y el exterior, el comité científico que aceptó evaluar trabajos, los que aceptaron ser jurados en las diversas categorías de premios para estudiantes y graduados, los panelistas de las mesas redondas.

Nos reconforta el afecto e interés que mostraron para participar. Reconocemos que de parte de todos ellos hay una motivación muy especial para poder contribuir a este encuentro donando su tiempo. A todos los que de una u otra forma ayudaron a que el ENCACS 2016 sea una realidad, y que quizás no hemos mencionado explícitamente, les estamos muy agradecidos.

Dr. Ing. Arq. Jorge Daniel Czajkowski

Arq. Analía Fernanda Gómez

Organizadores ENCACS 2016.

Presentación

El Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LAyHS), la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y el Colegio de Arquitectos de la Provincia de Buenos Aires Distrito 1 (CAPBA D1) organizan el I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable. El evento busca reunir a investigadores, políticos, empresas, emprendedores, organizaciones no gubernamentales y de base, profesionales de la construcción y estudiantes en un solo lugar con el fin de tender a una visión común sobre el desafío que plantea la sustentabilidad. Para esto se proponen tres actividades principales, diferenciadas a partir de la forma de participación:

- Conferencias, Mesas redondas, Ponencias y Comunicaciones Técnicas organizadas en distintos ejes temáticos: se presentan trabajos académicos y de investigación, proyectos sociales y de extensión universitaria en formato de artículos y posters. Se desarrolla del 23 al 27 de Mayo de 2016.
- Premio de Arquitectura y Hábitat Sustentable: convoca a profesionales de la construcción y estudiantes universitarios. El jurado está conformado por investigadores, matriculados y representantes técnicos de empresas. La entrega de premios se realiza el 27 de Mayo de 2016.
- Exposición de Productos y Servicios Sustentables, Charlas Técnicas dictadas por empresas: abiertas a profesionales, estudiantes y público en general. Se desarrolla del 26 al 28 de Mayo de 2016.

Las distintas actividades del Encuentro cuentan con el patrocinio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la Maestría en Arquitectura y Hábitat Sustentable (AyHS FAU UNLP). Tienen como Main Sponsors a SAINT-GOBAIN Argentina, RHEEM y Ekoglass, además cuenta con INROTS Sudamericana, Knauf, Technal, y Roca como Sponsor

El Encuentro posee el auspicio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Asociación de Facultades y Escuelas de Arquitectura Públicas del Mercosur (arquicur), la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla (ETSA US), la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (FI UNLP), el Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo

(CPAU), la Sociedad Central de Arquitectos (SCA), el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT España), la Red Argentina de Municipios frente al Cambio Climático (RAMCC), el Capítulo Argentino de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), el Argentina Green Building Council (AGBC), el Comité Argentino del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), el Comité Argentino del Consejo Internacional de Museos (ICOM), el Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio Argentina (CICOP), la Asociación Argentina de Energía Eólica (AAEE), la filial Argentina de la International Building Performance Simulation Association (IBPSA), el Colegio de Arquitectos de la Provincia de Buenos Aires (CAPBA), la Maestría en Arquitectura y Hábitat Sustentable (AyHS FAU UNLP) y la Cátedra de Instalaciones Czajkowski, Gómez Calisto Aguilar (Arquinstal FAU UNLP).

Además cuenta con la adhesión de la Universidad Argentina John F. Kennedy (UK), la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Morón (FADAU UM), el Taller de Integración Latinoamericano (TIL), la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN BA), la Facultad de Ingeniería (FI UNLZ) y el Programa INCUBAT de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (FI UNAM), la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario (FCEIyA UNR), el Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur (UNS), la Prosecretaría de Bienestar Universitario de la UNLP y la Cátedra Libre de Municipios Sustentables (UNLP).

Conferencias magistrales

Los Conferencistas Invitados son el Dr. Ing. Erico Spinadel (Asociación Argentina de Energía Eólica), la Dra. Arq. Laura Spinadel (BUSarchitektur & BOA büro für offensive aleatorik, Viena, Austria), el Arq. Guillermo Rubén García (Asesor en Patrimonio. ICOMOS, CICOP, UBA, UCALP), el Dr. Ing. José Antonio Ferrer Tevar (CIEMAT- Gobierno de España), la Dra. Arq. Pilar Mercader Moyano (Universidad de Sevilla), el Mg. Arq. Alfredo Fernández González Universidad de Nevada, Las Vegas (UNLV), y el Mag. Arq. Jorge A. Ramírez Fonseca (Colombia).

Mesas redondas

Las mesas redondas tratan los siguientes temas: energía, normalización, sistemas de certificación, gestión de residuos, responsabilidad social empresaria, productos y soluciones para la construcción sustentable. Cuentan con disertantes de Comisión Nacional de Energía Atómica, ENARGAS y UNSaM, ASHRAE, IRAM, CAPBA, Bienestar Universitario UNLP, TGLP Desarrolladores Inmobiliarios, Estudio Urgell Penedo Urgell, y las ONG Nuevo Ambiente, Vivienda digna, Un techo para mi país, entre otras instituciones.

Ponencias y Comunicaciones Técnicas

Las Ponencias y Comunicaciones Técnicas se sometieron a un proceso de evaluación doble ciego por el Comité Científico del Encuentro, los autores de los trabajos residen en Argentina, Chile, Colombia, España y México. Se abordan los siguientes temas: Sustentabilidad urbana, Eco-ciudades y eco-villas, Paisajes sustentables, Arquitectura Bioclimática y Sustentabilidad, Eficiencia energética edilicia, Sustentabilidad y accesibilidad, Patrimonio cultural y sustentabilidad, Conservación preventiva en Museos, Bibliotecas y Archivos, Evaluación y certificación de sustentabilidad, Modelización y simulación, Materiales y técnicas de construcción sustentable, Gestión de los residuos de construcción, Sistemas e instalaciones sustentables, Integración de Energías Renovables, Sustentabilidad en las políticas públicas, legislación y normalización, Sustentabilidad en las prácticas sociales y económicas, Educación y formación en sustentabilidad.

Seminarios - Taller

Se organizan tres Seminarios - Taller dictados por la Dra. Ing. Agr. María Silvina Soto (INTA), el Ing. Leandro Magri (Colectando Sol) y el Mg. Arq. Alfredo Fernández González Universidad de Nevada, Las Vegas (UNLV).

Exposición y charlas técnicas

Las empresas SAINT-GOBAIN Argentina, RHEEM, Ekoglass, INROTS Sudamericana, Knauf, Technal, y Roca dictan charlas técnicas sobre sus productos y servicios sustentables abiertas a profesionales, estudiantes y público en general. También se pueden recorrer los stands de estas empresas y de Ideal, Enersol y Gensolar.

Sobre el LAYHS FAU UNLP

El Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable tiene su sede en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata. Busca desarrollar estrategias de diseño con el fin de adaptar las construcciones al cambio climático, mitigando y reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero. Pretende la formación de recursos humanos especializados mediante formación de becarios y tesis en el ámbito de la investigación, el dictado de cursos de especialización y actualización a profesionales de la arquitectura y la ingeniería; la asistencia técnica al medio social mediante la extensión universitaria y trabajos a terceros.

Comité Organizador

Profesores Responsables

Dr. Arq. Jorge Daniel Czajkowski

Arq. Analía Fernanda Gómez

Integrantes

Arq. Mauro Gabriel García Santa Cruz, DCV Brenda Tamara Czajkowski, Esp. Arq. María de la Paz Diulio, Arq. Gabriela Reus Netto, Arq. David Basualdo, Arq. Robert Nieto Jimenez, Lic. María Jimena García Santa Cruz, Arq. Patricia Camporeale, Arq. Roberto Berardi.

Comité Científico

Dra. Irene Blasco (FAUD UNSJ), Arq. Jorge Bozzano (CICOP Argentina), Arq. Patricia Camporeale (LayHS FAU UNLP), Mg. Gabriela Casabianca (FADU UBA), Mag. Arq. Claudio Catera (ICOMOS Argentina), Arq. Gustavo Cremaschi (LATEC FAU UNLP), Dr. Arq. Jorge Czajkowski (LayHS FAU UNLP, CONICET), Dra. Victoria D'Hers (UBA, CONICET), Mgr. Arq. Claudio Delbene (CIHE FADU UBA), Arq. María de la Paz Diulio (LayHS FAU UNLP, CONICET), Dra. Arq. María Cristina Domínguez (FAU UNLP), Dr. Ing. Alfredo Esteves (INAHE CONICET), Dr. Arq. Juan Carlos Etulain (CIUT FAU UNLP, CONICET), Dr. José Antonio Ferrer Tevar (CIEMAT España), Dra. Arq. Celina Filippín (CONICET), Dra. Silvana Flores Larsen (INENCO unas, CONICET), Mg. Jorge Follari (UNSLuis), Esp. Arq. Beatriz Garzón (FAU UNT, CONICET), Dr. EneDir Ghisi (UFSC Brasil), Dr. Salvador Gil (UNSAM, ENARGAS), Arq. Analía Gómez (LayHS FAU UNLP, CONICET), Dra. Ana Gómez Pintus (HITEPAC FAU UNLP, CONICET), Dr. Alejandro González (INIBIOMA CONICET), Dr. Guillermo Gonzalo (FAU UNT), Dr. Alejandro Hernández (INENCO UNSa, CONICET), Dr. Carlos Kirschbaum (IILAV UNT, CONICET), Dr. Roberto Lamberts (LabEEE UFSC Brasil), Arq. Sara Lía Ledesma (FAU UNT), Arq. Jorge Omar Lema (SCA), Dr. Julio Marañón Di Leo (LACLIFYA FI UNLP, CONICET), Mg. Cecilia Fernanda Martínez (CEEHAS IAA FAU UNT), Dra. Silvia Matteucci (FADU UBA, CONICET), Dra. Ma. del Pilar Mercader Moyano (U. Sevilla), Dr. Néstor Alejandro Mesa (CONICET), Dr. David Morillón Gálvez (IINGEN UNAM, México), Arq. Susana Mühlmann (FADU UBA), Dra. Daniela S. Nitiu (FCNyM UNLP, CONICET), Dr. Aldomar Pedrini (CNPq UFRN Brasil), Mg. Arq. Jorge Ramírez Fonseca (UNal Colombia), Arq. Gabriela Reus Netto (LayHS FAU UNLP, CONICET), Dra. Ma. Nefalí Rojas Valencia (IINGEN UNAM, México), Lic. Raúl José Sánchez (ICOM), Dra. Ana Scarabino (GFC FI UNLP), Dra. Silvia Soutullo Castro (CIEMAT España), Dr. Ing. Erico Spinadel (AAEE), Dra. Arq. Halimi Sulaiman (IBPSA Argentina, IRPHA FAUD UNSJ, CONICET).

01. Sustentabilidad Urbana

Transformación sostenible del Espacio Público en barrios del Gran Santiago. El caso del Barrio San Gregorio, Santiago de Chile.

Natalia Ponce Arancibia¹

Resumen

La precarización en los procesos de construcción del espacio público, vista desde las unidades territoriales denominadas como barrios, constituye una problemática en la configuración de las ciudades de Chile. Esta situación se agudiza aún más, en barrios asociados a sectores socioeconómicos bajos, los que manifiestan problemáticas sociales y urbanas de consideración. En este contexto, y como respuesta al deterioro del espacio público evidenciado en una gran cantidad de barrios, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo implementa a partir del año 2006, un programa piloto orientado a promover procesos de regeneración urbana en territorios espacialmente degradados y socialmente vulnerables, denominado Programa de Recuperación de Barrios. Debido que el mayor impacto del Programa se ha visto reflejado en el mejoramiento del espacio público, es que esta investigación tiene por objetivo revelar cuáles son los factores que inciden en la sostenibilidad de la intervención propiciada por el Programa en el territorio.

Palabras clave: Barrio; Espacio Público; Apropiación Territorial; Regeneración Urbana.

Sustainable transformation of public space in neighborhoods of Gran Santiago. The case of San Gregorio`s neighborhood, Santiago de Chile.

Abstract

The precariousness of public space construction processes, particularly in territorial units known as neighborhoods, is a constant in the modeling of Chilean cities, presenting great challenges in terms of urban planning policies. This is more noticeable in neighborhoods associated with low socio-economic sectors, which show great social and urban issues. It is in this context, that the Ministry of Housing and Urban Development installed a pilot program in order to generate urban regeneration processes in spatially degraded and socially vulnerable areas, called Neighborhood Regeneration Program. In this respect, and given that the greatest impact of the program has been reflected in public space, is that this research has the objective to reveal which factors affect the sustainability of

¹ División de Política Habitacional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile. Natalia.ponce@gmail.com

the intervention promoted by the Neighbourhoods Recovery Program , reflected in the changes observed in the dynamics of use and conservation of the public space.

Keywords:Neighborhood, Public Space, Territorial Appropriation, Urban Regeneration.

Introducción

A partir de las modificaciones introducidas por el modelo de desarrollo neoliberal impulsado por la dictadura, y prolongado en democracia, las políticas urbanas y habitacionales chilenas han transferido la regulación del suelo a los intereses del mercado, determinación que ha impactado significativamente la estructura y morfología del contexto urbano nacional. Una de las principales transformaciones tiene que ver con la introducción de lógicas subsidiarias, tendientes a agilizar la disminución del déficit habitacional mediante la producción masiva de viviendas. Si bien es posible afirmar que la política implementada en Chile ha sido exitosa en términos cuantitativos, logrando reducir aceleradamente el déficit habitacional, hacia fines de los años 90 se pone de manifiesto la degradación y carencias del parque habitacional, iniciándose así las primeras discusiones para enfrentar esta problemática. En este contexto, es que surge a partir del año 2006, una nueva línea de políticas urbanas impulsada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, materializada a través del Programa de Recuperación de Barrios (también conocido como Quiero mi Barrio). Esta iniciativa constituye un referente en cuanto a iniciativas de recuperación de espacios públicos y equipamiento comunitario, en sectores urbanamente deteriorados y con un alto grado de vulnerabilidad social. El protagonismo de la comunidad durante y después de la implementación del programa plantea, por su parte, grandes desafíos en lo referido a instancias de participación ciudadana, considerando que la sostenibilidad de la intervención se asocia al desarrollo de procesos de apropiación territorial que tienen como principales protagonistas a los propios habitantes del barrio.

Durante la implementación del piloto de esta iniciativa programática, la Región Metropolitana fue la que concentró el mayor porcentaje de barrios a nivel nacional, contando con 86 de los 200 barrios intervenidos, de los cuales los 12 primeros finalizaron su intervención en el año 2009. De esta manera, existe un conjunto de barrios donde han transcurrido alrededor de 7 años desde el término de la implementación del Programa, por lo que a la fecha ya es posible establecer un diagnóstico respecto del grado de conservación/sostenibilidad de las obras ejecutadas en ellos, así como también respecto a los posibles cambios en las dinámicas sociales asociadas al uso del espacio público por parte de la comunidad; dinámicas que, por otra parte, tienen estrecha relación con el grado de apropiación territorial desarrollado sobre estos espacios. Lo anterior, considerando que el foco de inversión del Programa está orientado principalmente al mejoramiento de los espacios públicos. Considerando lo anterior, esta investigación tiene por propósito indagar en aquellos factores que pudiesen haber favorecido la sostenibilidad en la transformación territorial que se genera en el marco de la aplicación del Programa, entendiendo que tanto la ejecución como el estado de conservación de los proyectos depende en gran parte de la corresponsabilidad de diversos actores, entre los cuales se cuenta al MINVU, al Municipio y a la comunidad. Identificar aquellos factores que, dentro de la estrategia de intervención que propone el Programa, resulten favorables, es de suma relevancia, sobre todo porque los resultados que de aquí se desprendan pueden ser una guía para futuras intervenciones y, al mismo tiempo, un aporte en la consolidación de esta naciente Política Pública. Como una manera de profundizar la problemática antes planteada, se seleccionó como caso de estudio la intervención realizada por el Programa en el Barrio San Gregorio 1 y 2, Comuna de La Granja entre los años 2007 y 2009. Lo anterior, responde principalmente a que el barrio San Gregorio

es uno de los primeros barrios egresados en la Región Metropolitana (año 2009) y en él se han observado diferencias significativas en cuanto al estado de conservación de las obras ejecutadas en el espacio público respecto de los 10 barrios restantes egresados el mismo año, diferencias que lo han posicionado como una experiencia exitosa en el marco de la implementación del Programa.

1. Metodología

El barrio San Gregorio se ubica en la franja territorial N°3 de la comuna de La Granja, ubicada al sur de la Región Metropolitana, en la ciudad de Santiago de Chile. Los límites espaciales del territorio intervenido, se encuentran definidos por la calle Tomé al norte, calle Juan Meyer al sur, Avenida Raúl Silva Henríquez (Ex La Serena) al poniente y Avenida Punta Arenas al oriente. La configuración urbana rectilínea del Barrio San Gregorio, se caracteriza por la presencia de vacíos al interior de las manzanas, generando una sub-trama al interior del polígono, lo que determina una condición particular del territorio en estudio. En este contexto, las viviendas constituyen el lleno que contiene los vacíos (espacios públicos) destinados a áreas verdes y equipamientos. Dentro de los espacios observados, se concentró la mirada en las iniciativas ejecutadas por el Programa de Recuperación de Barrios en los espacios interiores del lote, puesto que parte sustantiva de la intervención en el territorio fue dirigida hacia estos terrenos. Si bien se observaron en forma general las 11 iniciativas ejecutadas en estas áreas, para efectos de profundizar en el análisis se seleccionó un conjunto de 9 proyectos, que representan las distintas tipologías de iniciativas ejecutadas, las que a su vez se encuentran distribuidas en distintos sectores del barrio.

1.1 Técnicas de recolección y registro de información

Entrevistas semi-estructuradas: El empleo de esta técnica tuvo por objetivo reconstruir las condiciones físicas y sociales iniciales del barrio, el proceso de implementación del Programa en el Territorio y además captar impresiones respecto de las condiciones físicas y usos actuales de los espacios intervenidos. De esta manera, las entrevistas se aplicaron a dos grupos distintos; en primera instancia se aplicó una pauta de entrevista a profesionales que se desempeñaron en el proceso de implementación del Programa en el Barrio (Actores Institucionales), vinculados tanto al Equipo de Barrio (ejecutor) como a la Secretaría Regional Metropolitana de Vivienda y Urbanismo (supervisor), en este grupo se seleccionó a un total de 4 entrevistados, tanto del área social como urbana, los cuales fueron entrevistados de forma presencial. En segunda instancia se realizaron entrevistas a 4 vecinos de distintos sectores barrio (Actores Barriales), estas se llevaron a cabo en el territorio, durante las visitas efectuadas a terreno. La pauta de entrevistas aplicadas se estructuró en torno a tres ejes temáticos: diagnóstico de la situación inicial del barrio, definición de iniciativas físicas y transformación del espacio público posterior a la implementación del Programa.

Observación pasiva: Con el empleo de esta técnica fue posible aproximarse a las características físicas actuales y los usos que se dan en las intervenciones físicas ejecutadas en el espacio público del Barrio San Gregorio en el marco del Programa, para después contrastarlas con las fuentes anteriormente indicadas, permitiendo la detección de posibles cambios. Para el registro de la información obtenida, se utilizaron tablas en las cuales se individualizan los proyectos observados, divididos de acuerdo a las distintas tipologías de iniciativas desarrolladas. Para cada proyecto se determinó un conjunto de indicadores, los cuales fueron evaluados respecto a las condiciones físicas actuales, determinándose los parámetros bueno, regular y malo. En las mismas tablas se incorporó una columna para registrar en forma paralela los usos de los distintos proyectos evaluados.

2. Resultados

De acuerdo a las observaciones realizadas en terreno, y a los elementos aportados por los distintos actores mediante las entrevistas realizadas, es posible plantear que las condiciones urbanas con las cuales contaba el barrio San Gregorio, referidas al proyecto original bajo el cual fue concebido, constituyen un factor clave en relación al estado actual de conservación de las obras ejecutadas en el espacio público en el marco de la intervención del Programa. Estas condiciones tienen que ver con la existencia de un número importante de lotes, distribuidos de manera regular al interior del barrio, los que se presentan como un potencial con el cual contaba el territorio antes del inicio de la intervención. En el caso particular de la Población San Gregorio, se reconoce en el origen del proyecto una rigurosa planificación del espacio, plasmada específicamente en la morfología del lote, que apunta a intencionar la vida colectiva y da énfasis al sentido organizativo de la comunidad. El espacio público constituye, de esta manera, un elemento base que da sentido a la configuración arquitectónica y urbana en el contexto habitacional (Raposo, 2000, p.31). Sin embargo y pese a la formación de organizaciones comunitarias que posibilitaron el mejoramiento del entorno urbano del barrio en sus orígenes, permitiendo superar paulatinamente la precariedad que caracterizaba al sector, este se concentró esencialmente en la provisión de infraestructura vial (pavimentos de calles y pasajes), quedando los terrenos destinados a espacios públicos antes mencionados, en un abandono evidente durante muchos años.

2.1 Condiciones físicas y dinámicas de uso anteriores a la implementación del Programa de Recuperación de Barrios.

Como se mencionó con anterioridad, el barrio contaba en su situación base con un número importante de terrenos B.N.U.P. (Bien Nacional de Uso Público), los cuales correspondían principalmente a espacios públicos interiores sin intervenciones físicas previas, encontrándose distribuidos regularmente dentro del lote. Antes de la implementación del Programa, y según la información contenida en el diagnóstico (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2008) realizado por el equipo técnico, alrededor del 80% de estos terrenos no habían sido consolidados como áreas verdes, en los cuales además no se registraban usos positivos, situación que los convertía en sitios con un importante nivel de deterioro urbano y social. Dentro de los espacios públicos se identificaron 9 lotes de medianas proporciones emplazados al interior de las manzanas del barrio, cada uno de ellos con una superficie de aproximadamente 1000 m². Estas áreas constituyen espacios abiertos distribuidos regularmente en el polígono definido por el Programa, conectados mediante pasajes, conformando un circuito espacial al interior de las manzanas del barrio. Se trata de espacios contenidos por las viviendas, con una relación casi inmediata entre ambos, situación que posibilita el control vecinal sobre ellos. La mayor parte de estos espacios no contaban con intervenciones físicas previas, existiendo no obstante lotes en los cuales se había desarrollado algún tipo de iniciativa de inversión con anterioridad. Es por esto que la descripción de los espacios agrupados en esta categoría se realizará considerando la distinción en el estado de consolidación de las áreas, estableciéndose así dos subcategorías para este grupo: Espacios Públicos sin intervenciones físicas previas y Espacios Públicos interiores con intervenciones físicas previas.

2.1.1 Espacios públicos interiores sin intervenciones físicas previas

Los espacios públicos interiores sin consolidar, identificados en la figura N°1 con los números 1, 2, 5, 7 y 8, llegaban al 56% (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2008), es decir, 5 de 9 se encontraban en abandono absoluto. Estos espacios constituían áreas “cafés”, donde no existía un trazado de

circulaciones y detenciones que configuraran el espacio, no contaban con dotación de mobiliario urbano, luminaria ni paisajismo alguno.

Figura 1. Identificación planimetría e imágenes de Espacios Públicos Barrio San Gregorio



Fuente: Figura realizada por el autor

Adicionalmente, la condición de abandono propiciaba conflictos ambientales producto de la proliferación de microbasurales en ellos. De acuerdo a lo señalado por una vecina del Sector 9, respecto al espacio que enfrentaba su vivienda (espacio N° 7 en plano), cuyo destino era una supuesta área verde, ella declara que de él “Ni siquiera se puede decir (que era una) plaza, porque no se podía transitar por ahí, porque estaba lleno de basura y el pasto largo”². Las características físicas antes mencionadas, donde predominaba un deterioro extremo impedían el desarrollo de cualquier tipo de actividad en ellos. Consultados los de los habitantes del barrio, respecto de los usos asociados a estos espacios, no recuerdan siquiera si estos tenían un destino asociado, por tanto, y de acuerdo a los relatos, no se registraban usos positivos en ellos. Las dinámicas de uso de las cuales tienen

²ENTREVISTA con Gloria, vecina sector 9, Barrio San Gregorio Comuna de la Granja, Santiago, 22 de diciembre de 2013.

recuerdos, tiene relación con prácticas negativas. En este sentido uno de los grandes conflictos que enfrentaban estas áreas, dicen relación las condiciones de inseguridad asociadas de ellas.

2.1.2 Espacios Públicos interiores con intervenciones físicas previas

Los espacios públicos interiores, señalados en la figura N°1 con los números 3, 4, 6 y 9, contaban con algún tipo de intervención antes de la instalación del Programa, los cuales correspondían a un 44% del total agrupado en la categoría. Los destinos originales se encontraban asociados a multicanchas o áreas verdes. De todas formas, estos 4 espacios, presentaban una escasa mantención e incipiente dotación de mobiliario, constituyéndose igualmente áreas con un alto grado de deterioro urbano. En el caso de las multicanchas, el deterioro se evidenciaba en el mal estado de conservación de la carpeta, el deterioro de cierres perimetrales y la insuficiente dotación de luminaria. Por otro lado, en las plazas o áreas verdes, predominaban extensas superficies de tierra, sin ningún tipo de pavimento, con escasas especies vegetales, un deteriorado mobiliario urbano, y casi nula dotación de luminaria. Es debido a las condiciones antes descritas, que la intensidad de uso de estos espacios se daba principalmente durante el día por parte de algunos vecinos, mientras que por las noches albergaba habitualmente a usuarios consumidores de alcohol y drogas, situaciones que lo definían como un espacio inseguro para la mayoría de la población.

Si bien se definió una distinción en dos subcategorías para desarrollar la descripción de los espacios interiores, se evidencia que los problemas de seguridad constituían un tema transversal, independiente de su estado de consolidación. En este sentido, la inseguridad presenta como uno de los mayores factores de riesgo que enfrentaba el espacio público barrial. Al respecto Fernando Carrión (2007) señala que el aumento de violencia debe en gran medida a la reducción de las posibilidades de ciudadanía, producto de la desconfianza y la pérdida del sentido de lo colectivo. De esta forma, se comienza a concentrar una población temerosa a la ciudad, particularmente de su espacio público, escenario ideal para la proliferación de lugares como los que existían en la población San Gregorio.

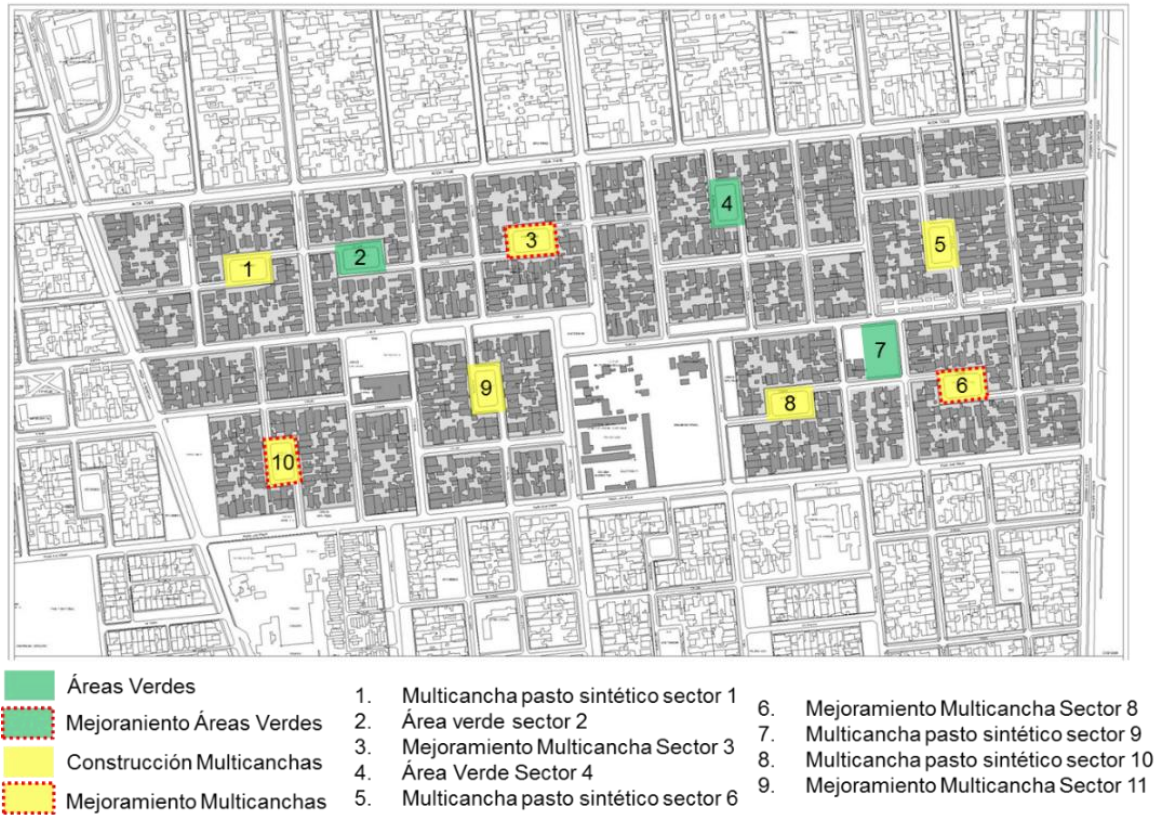
2.2 Estado de conservación actual post intervención del Programa y usos vigentes de las intervenciones ejecutadas en el espacio público barrial.

La mayor parte de los proyectos ejecutados en el Barrio San Gregorio se concretó en los espacios interiores identificados anteriormente, es decir, de 11 intervenciones desarrolladas por el Programa, 9 se concentran al interior de las manzanas. Esta decisión tuvo por objetivo atender espacios cuya precariedad en la conformación física complejizaba extremadamente su apropiación, los que además se encontraban distribuidos uniformemente, permitiendo dotar de espacios consolidados a los distintos sectores del barrio. Los proyectos desarrollados en el marco del Programa, corresponden principalmente a dos tipologías: áreas verdes y multicanchas, todas emplazadas en los espacios interiores identificados anteriormente, cuyo estado de conservación actual se describe a continuación.

2.2.1 Estado de Conservación y usos vigentes Multicanchas

Las multicanchas corresponden a la tipología de proyectos predominante en el Barrio San Gregorio. En este sentido, de los 9 proyectos ejecutados en los espacios interiores, 7 corresponden a proyectos de este tipo. Sin embargo, se presenta una distinción en la iniciativa de inversión, ya que un grupo de multicanchas fue construida íntegramente, puesto que el terreno era originalmente un sitio eriaz, mientras que en otro grupo sólo se realizó un mejoramiento de la multicancha pre-existente.

Figura 2. Tipologías de proyectos desarrolladas por el Programa en Espacios Públicos Barrio San Gregorio



Fuente: Figura realizada por el autor.

De acuerdo a lo indicado en la figura N°6, los proyectos ejecutados en un primer grupo, integrado por las multicanchas de los sectores 1, 6, 9 y 10 consisten en la construcción de multicanchas de pasto sintético con cierres perimetrales de estructura metálica y malla acma. Cuentan con luminaria y elementos complementarios para el desarrollo de prácticas deportivas. En forma adicional se desarrolló una inversión en su entorno, aportando mobiliario urbano y paisajismo en algunos espacios. Luego de la observación en terreno, se pudo constatar que los elementos principales que componen los proyectos, es decir, carpeta de pasto sintético, cierros perimetrales y luminaria, se mantienen en buenas condiciones, favoreciendo positivamente la imagen urbana de cada uno de estos sectores. Respecto a la intensidad de uso, se observó que las multicanchas de pasto sintético, son frecuentemente utilizadas, desarrollándose múltiples actividades en ellas. Relativo a esta situación se puede deducir, que en gran parte se debe al funcionamiento de los comités de administración asociados a estos proyectos. Según nos indicaron vecinos del sector, los comités siguen vigentes, procurando tomar las medidas necesarias para su adecuado funcionamiento, las que van desde la rigurosidad en los horarios de uso y la organización constante de distintas actividades deportivas en ellos. Adicionalmente, los comités de administración con el apoyo de la comunidad han tomado medidas tendientes a generar ingresos que contribuyan a la mantención y uso constante de estos espacios, generalmente a través del arriendo del espacio.

Por otra parte, el tipo de iniciativas desarrolladas los sectores 3, 8 y 11, obedece sólo al mejoramiento de las condiciones de las multicanchas preexistentes. El mejoramiento consistió en

refaccionar los cierres perimetrales, mejorar la losa de hormigón, además de incorporar mobiliario urbano y paisajismo al entorno.

Figura 6. Situación actual multicanchas Barrio San Gregorio



Fuente: Figura realizada por el autor.

De acuerdo a lo relatado por profesionales del equipo de barrio, debido a la cantidad de espacios sin consolidar existentes en el barrio que requerían una inversión mayor, y al límite presupuestario para la ejecución de obras en el sector, se optó por mejorar las condiciones de lo existente y de esta forma optimizar los recursos.

Figura 7. Construcción Multicancha Sector 9



Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 8. Mejoramiento Multicancha Sector 11.



Fuente: Figura realizada por el autor.

Es necesario indicar que en estos casos la comunidad no participó en la definición del proyecto a ejecutar, factor que puede tener significancia en el estado de conservación actual. Durante la observación se pudo constatar los proyectos del tipo mejoramiento de multicancha presentan un estado de deterioro avanzado, distando de las condiciones descritas para las iniciativas anteriores. Los elementos más afectados son los cierres perimetrales, observándose un desprendimiento de grandes superficies de malla. Existen otros factores que fueron singularizados en el proceso de entrevistas aplicadas a profesionales del equipo de barrio, donde se hace alusión a la escasa capacidad asociativa con la cual contaban las organizaciones que tenían por responsabilidad la administración del espacio.

2.2.2 Estado de conservación y usos vigentes de Áreas verdes

El estado de conservación actual de las áreas verdes del barrio en general es adecuada. Esto se refleja en la mantención de las especies vegetales y paisajismo, cuyo estado va de óptimo a regular, mientras que la limpieza de las superficies es buena, utilizándose de adecuada manera los contenedores de basura. No se observan concentraciones de microbasurales en estos espacios. Los pavimentos, ya sean blandos o duros no presentan mayores deterioros. Respecto de las luminarias, estas mantienen su funcionamiento y durante las observaciones realizadas no se registraron destrozos en ellas. Se registró también que los juegos infantiles se mantienen en buenas condiciones.

Figura 3. Situación actual áreas verdes Barrio San Gregorio



Fuente: Figura realizada por el autor.

En cuanto al uso, y de acuerdo a los relatos de algunos vecinos, es posible afirmar que el cambio en las prácticas de uso ha sido radical. En su estado original, este espacio constituía un terreno baldío sin más uso que el tránsito de vehículos a altas velocidades a través de él. La configuración del espacio, y las condiciones propiciadas por el diseño, detonaron en el uso de un espacio que antes no poseía condiciones favorables para el desarrollo de actividades recreativas en ellos. Con la intervención, y la nueva organización del espacio, este conflicto fue superado de forma inmediata. En la actualidad, fuera del desarrollo de prácticas recreativas, estos espacios se posicionan como lugares que congregan a la comunidad para fechas relevantes. La opinión de una de sus vecinas, refrenda lo observado de acuerdo al siguiente relato: “ahora que vienen estas fiestas, para la navidad salen todos a la plaza, pal año nuevo salen todos ahí a saludarse, se quedan harto rato en la plaza”.³

No obstante, de acuerdo al análisis realizado para esta tipología de proyectos, las diferencias principales en el estado de conservación entre las distintas plazas ejecutadas, radican en la situación actual mobiliario urbano, particularmente en el tipo de escaños utilizados en cada una de las ellas. En la observación efectuada se constataron destrozos parciales en estos elementos. Esta situación se grafica claramente, al contrastar el estado de conservación de los escaños utilizados en el Área Verde Sector 2 con los empleados en el Área Verde Sector 4.

Figura 4. Mobiliario área verde sector 2.



Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 5. Mobiliario Área Verde Sector 4.



Fuente: Figura realizada por el autor.

El área verde del sector 2, donde se utilizó un escaño antibandálico de hormigón, mantiene sus condiciones intactas, mientras que los escaños utilizados en el área verde del sector 4, donde se optó por la utilización de un escaño con piezas de madera, se observa una merma en su condición original, debido al retiro parcial de algunas de sus partes. No obstante, y como se mencionó anteriormente, el estado general de conservación de los proyectos es bueno, siendo el deterioro antes descrito un detalle en el contexto global identificado para esta tipología.

3. Conclusiones

Las condiciones morfológicas originales del barrio San Gregorio, sin duda posibilitaron una redefinición del deterioro que caracterizaba entorno urbano del sector. No obstante, la reactivación de la sociedad civil se presentó como gran desafío, puesto que el sentido de comunidad y su capacidad de apropiación, es lo que finalmente permite poner en valor los atributos positivos propios del espacio público al momento de llevar a cabo una intervención urbana en el territorio. En el caso de este territorio en particular, vemos como el pasado de una comunidad organizada, aporta

³ENTREVISTA con Gema, vecina sector 2, Barrio San Gregorio Comuna de la Granja, Santiago, 22 de diciembre de 2013.

elementos que pueden ser relevantes al momento de evaluar el éxito de las intervenciones realizadas en el marco del Programa. Podemos afirmar entonces, que las características asociativas desarrolladas por la comunidad de origen, que favorecieron la consolidación inicial de la población, así como las condiciones urbanas propiciadas por el proyecto diseñado por la CORVI, constituyeron una oportunidad desde la cual se pudo engarzar el trabajo desarrollado con la comunidad y su identificación con el espacio público en el marco de la implementación del Programa de recuperación de Barrios.

Con la transformación del espacio público, a través de las intervenciones físicas realizadas, se comienza a observar un cambio de actitud de los vecinos respecto a la apreciación de su entorno inmediato. No obstante, los relatos de vecinos denotan que aún se sostienen prácticas con una connotación negativa, como son el consumo de drogas, lo cual constituye una de las causas relacionadas con la destrucción del mobiliario o elementos de algunos sectores. Sin embargo, y frente a prácticas reconocidas como negativas por la comunidad, son los mismos vecinos quienes han asumido el liderazgo en la mantención y cuidado de los espacios. De acuerdo al relato de los actores barriales entrevistados, es la comunidad quien ha tomado la iniciativa en cuanto a acciones de denuncia, impensadas inicialmente debido al temor y a la falta de apropiación respecto del espacio. La transformación del espacio público dio paso a la transformación de la percepción y actitud del habitante respecto de él. En este sentido se manifiesta el desarrollo de prácticas de apropiación, tendientes a mantener las condiciones físicas de los proyectos ejecutados, los cuales y debido a la proximidad a sus viviendas simbolizan para muchos el antejardín de su casa, lo cual lo hace más cercano, más propio. Asimismo, el Barrio, situado dentro de una de escala urbana mediana, posibilita la frecuencia en la comunicación entre los distintos actores barriales, lo que visibiliza con mayor inmediatez la identidad del habitante con su contexto inmediato.

4. Bibliografía

- Carrión, Fernando (2007). *Espacio público: punto de partida para la alteridad*. En: Segovia, Olga (ed.). Espacios públicos y construcción social. Hacia un ejercicio de ciudadanía. Santiago: Ed. Sur, 2007.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2009). Lecciones Aprendidas y buenas Prácticas. Santiago de Chile: Editado por Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2009.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. “Programa de Recuperación de Barrios” [en línea]. En: Desarrollo de Barrios. (Consulta: 11/09/2011) http://www.minvu.cl/opensite_20070212164909.aspx
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2008). Diagnóstico Compartido Barrio San Gregorio, Archivo Programa de Recuperación de Barrios, Seremi Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, 2008.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2008). Informe Integral Barrio San Gregorio, Archivo Programa de Recuperación de Barrios, Seremi Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, 2008.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2008). Estudio Técnico de Base Barrio San Gregorio, Archivo Programa de Recuperación de Barrios, Seremi Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, 2008.
- Ministerio De Vivienda Y Urbanismo (2009). Propuesta Política Nacional de Desarrollo Urbano [en línea]. Agosto 2009. (Consulta: 11/09/2011) <http://www.slideshare.net/eyapur/anexo-1-3727234>

Raposo, Alfonso (2000). El paradigma de la CORVI en la arquitectura habitacional chilena, Boletín del Instituto de la Vivienda, N°41, noviembre 2000.

Raposo Moyano, Alfonso (2012). Historia de la Arquitectura. Elementos para una búsqueda bibliográfica. Tres casos de obras de arquitectura habitacional pública en Santiago actual. En: Revista Electrónica DU&P. Diseño Urbano y Paisaje Volumen IX N°23 Centro de Estudios Arquitectónicos, Urbanísticos y del Paisaje. Universidad Central de Chile Santiago, Chile. Marzo 2012.

Segovia, Olga (2007). Espacios Públicos y construcción social: hacia un ejercicio de ciudadanía. Ediciones SUR, 2007.

Autora

Natalia Fernanda Ponce Arancibia, Arquitecta Universidad de Santiago de Chile y Magíster en Hábitat Residencial Universidad de Chile. Diploma en Gestión Estratégica del Territorio y Evaluación socio-económica del Hábitat, Universidad de Chile. Trayectoria laboral vinculada al Servicio Público en distintos programas de intervención urbana-habitacional, con desempeño actual en la División de Política Habitacional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile.

La territorialidad del agua. Aportes para el desarrollo sustentable del Área Metropolitana de Mendoza.

*Marilina Brandi Brachetta*¹

Resumen

El trabajo aborda el proceso de evolución del área urbana de la cuenca del Río Mendoza, Área Metropolitana de Mendoza (AMM), en tanto objeto nacido y aconteciendo en estrecha dependencia con el recurso hídrico. Partiendo de la revisión de conceptos que definen la configuración territorial y mediante herramientas de análisis cartográfico, se aborda la evolución urbana interpretando las complejas dinámicas entre el soporte físico y los grupos sociales: desde las comunidades originarias que constituyeron el vínculo y posibilitaron el “oasis” hasta la actualidad. Finalmente, el estudio concluye que el AMM es una territorialidad constituida por la presencia y vitalidad del recurso hídrico. El desafío es repensar el territorio en el contexto contemporáneo y replantear sus límites para estimular políticas de desarrollo sostenible, no desde una perspectiva antropocéntrica o económica sino a partir de una racionalidad ambiental.

Palabras clave: territorialidad; recurso hídrico; sustentabilidad; Río Mendoza; oasis.

Water territoriality. Contributions to sustainable development the Metropolitan Area of Mendoza.

Abstract

This paper deals with the process of evolution of the urban area of the Río Mendoza, Metropolitan Area of Mendoza (AMM), born as an object and happening in close dependence on the water resource. Based on the review of concepts that define the territorial configuration and through the use of tools for the cartographic analysis, the paper analyses the urban evolution interpreting the complex dynamics between hardware and social groups, from indigenous communities that constituted the link and enabled the “oasis” to the present. Finally, the study concludes that the AMM is a territoriality constituted by the presence and vitality of water resources. The challenge of this work is to rethink the territory in the contemporary context and redefine its boundaries to

¹ Grupo Ciudad y Territorio. Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA). CONICET – Mendoza, Argentina. mbrandi@mendoza-conicet.gob.ar

stimulate sustainable development policies, not from an anthropocentric or economic perspective but from an environmental rationality.

Keywords: territoriality; water resources; sustainability; Río Mendoza; oasis.

Introducción

A partir de una revisión crítica de los conceptos “territorio” y “territorialidad”, introducimos la siguiente problemática, con el objetivo de construir el pensamiento sobre la base de constructos interdisciplinarios y poder abordar de esta manera, la relación dada entre aquello que actualmente conocemos como Área Metropolitana de Mendoza y las comunidades que la configuraron.

Godelier (1989) denomina territorio “la porción de la naturaleza, y por tanto del espacio, sobre el que una sociedad determinada reivindica y garantiza a todos o a parte de sus miembros derechos estables de acceso, de control y de uso que recaen sobre todos o parte de los recursos que allí se encuentran y que dicha sociedad desea y es capaz de explotar” (p. 107). En este sentido, el territorio es pensado desde la apropiación de la naturaleza por parte de una población. Esa propiedad existe en tanto se determinen reglas, leyes, que regulen las conductas. Podríamos decir que son diferentes formas de acción del hombre sobre la naturaleza, que comúnmente denominamos trabajo.

Para Milton Santos (2000), “la regulación del espacio está dada por la dinámica del intercambio, que funciona como estructuradora de la realidad. En este sentido, territorio y mercado se vuelven conceptos siameses, en su condición de conjuntos sistémicos de puntos que constituyen un campo de fuerzas independientes” (p. 193). Estamos así ante una configuración territorial impulsada por la búsqueda de la plusvalía, que en sus orígenes resulta indiferente a las realidades locales y ambientales. Esto habla de una racionalidad espacial adecuada a las demandas globales y planificada por una minoría que somete tanto al espacio como a la masa de sujetos a un ciclo de producción e intercambio que no contempla costos culturales ni ambientales.

“El concepto de territorio, existe como una palabra viviente, que se ha ido transformando y sobre todo ampliando, a través del tiempo” (Torres, Abraham, & Pastor, 2014:11). Vivientes, porque son palabras sumergidas en las disputas por llenarlas de sentido. Esto hace pensar en la importancia que tiene para determinados sectores la definición, puesto que establece, como su significado, lugares de aplicación del poder. “Para entender el territorio, es necesario establecer su carácter en tanto relación geo-eco-antrópica multidimensional” (Sosa Velásquez, 2012:7).

Podríamos decir entonces que subyace a la definición, el concepto de apropiación social de la naturaleza y fundamentalmente la delimitación de espacios que contribuyan a explicar la aplicación del poder. Esto es válido, desde luego, para las sociedades organizadas bajo la lógica de los estados capitalistas. No podemos dejar de mencionar que hay comunidades que hacen una apropiación distinta de los medios, como las tribus nómades nigerianas, por ejemplo.

Existen muchas maneras de concebir el territorio. Creemos necesario definir una propia para poder formular teorías sobre su desarrollo y configuración. Podemos identificarlo a partir de una relación insoluble entre tres partes: el espacio, el tiempo y la sociedad. Como toda relación, determina dinámicas cambiantes y evoluciona. Los factores biofísicos del territorio (espacio y sociedad) resultan alterables, no solamente por su carácter sino por la acción que el ser humano ejerce sobre éste. En tanto, el tiempo que transcurre es portador de los acontecimientos naturales y culturales, por lo tanto, el territorio como objeto aconteciendo y acontecido, se conforma como resultado de los

procesos históricos que atraviesa. En síntesis, el territorio es un espacio determinado de acción para una comunidad, que implica límites y fronteras, en un momento dado y como resultado de un proceso histórico. Buscaremos, en este sentido, una posible lógica para la planificación territorial, priorizando la coherencia intrínseca del espacio por sobre los intereses administrativos que históricamente lo han regulado.

“El espacio es poseedor de una estructura que podemos usar para clasificar o individualizar los fenómenos” (Harvey, 1977:5). Para cada comunidad organizada bajo leyes de un sistema, existe un espacio físico que la contiene. Ése es su territorio. En él puede desarrollarse, es el soporte para sus actividades. Siguiendo la lógica de la propiedad privada, estará fraccionado, y cada habitante puede hacer un uso determinado de él, de acuerdo a sus intereses. Cada porción de territorio está vinculada por espacios de circulación, calles, rutas, y caminos provistos por el Estado. En el conjunto, también se pueden identificar espacios de uso público, tierras fiscales y áreas protegidas. Se conforma así, un espacio integrado por lo privado, lo estatal y lo público donde interactúan lo geográfico, lo económico, lo social, lo cultural y lo político, dando lugar a dialécticas complejas. Estas dinámicas propias de cada espacio, generadas por la interacción de los distintos componentes y atravesadas por el instinto de apropiación del hombre, definen lo que se conoce como territorialidad.

Una vez más, las diferentes disciplinas enfocan dichas relaciones en diferentes ángulos y emiten percepciones acordes a las dinámicas que interpretan. Desde la psicología ambiental, autores hablan de la noción de territorialidad en relación a los mecanismos de apropiación del espacio que supone. Así, es vista como un “patrón de conductas y actitudes sostenido por un individuo o grupo, basado en el control percibido, intencional o real de un espacio físico definible, objeto o idea y que puede comportar su ocupación habitual, defensa, personalización y señalización” (Gifford, 1987:137). En igual sintonía, Ardrey (1966) define el imperativo territorial como el impulso que lleva a todo ser viviente a conquistar y defender su propiedad contra eventuales violaciones realizadas por miembros de su especie. Estas definiciones plantean la dominación territorial a partir de la supremacía del hombre sobre el medio.

Desde la geografía política, aparece la concepción de territorialidad elaborada por Robert Sack quien determina que esta se pone en práctica a través de: “1) la aceptación general de la clasificación del espacio (por ejemplo, lo nuestro en contra de lo de ustedes); 2) la comunicación del sentido de lugar, es decir, los discursos espaciales cuyo objetivo fundamental es crear un sentido de apropiación subjetiva del espacio (*attachement*) que refuerce las ideas de borde, marca y frontera, y 3) el refuerzo del control sobre el espacio mediante la vigilancia y el mantenimiento del orden. La combinación de consentimiento y coacción en las estrategias de territorialidad se conoce normalmente como hegemonía” (Sack, 1986:91). Desde esta perspectiva, el territorio aparece como escenario de disputas y conflictos propios de las dinámicas sociales, y la estructuración del espacio es concebida como un proceso atravesado por las relaciones de poder. “Si el espacio constituye de por sí un objeto de disputa a causa de su finitud, la escasez de recursos en las zonas áridas hace de estos territorios un incuestionable campo de contiendas. Las relaciones espacio-sociedad desarrolladas en torno a la apropiación y el uso del agua (el recurso hídrico en sí, el suelo irrigado, las infraestructuras, etc.) se tornan críticas en las tierras secas” (Montaña, 2008:2).

Entendida la territorialidad desde la geografía crítica latinoamericana, encontramos consideraciones como la siguiente:

“En los inicios de la historia del hombre, la configuración territorial era simplemente el conjunto de los complejos naturales. A medida que la historia va evolucionando, la configuración territorial la van constituyendo las obras de los hombres: carreteras, plantaciones, casas, depósitos, puertos, fabricas, ciudades, etc.; verdaderas prótesis. Se crea una configuración territorial que es cada vez más el resultado de una producción histórica y tiende a la negación de la naturaleza originaria, sustituyéndola por una naturaleza totalmente humanizada” (Santos, 2000:54). En sintonía con Santos, creemos en la necesidad de identificar territorialidades acordes con la realidad intrínseca de cada comunidad, que contemplen la sincronía de las características ecosistémicas que definen el espacio con la identidad de los pueblos que lo habitan y los procesos históricos que atravesó. Identificar estos componentes en un territorio, será una base útil para proyectar estudios, políticas, planes, cuyo objetivo sea un desarrollo territorial sostenible, entendido desde un enfoque superador que considere necesario una revolución sobre los modelos de gestión del medio natural por parte del hombre.

Metodología

A través del análisis cartográfico realizaremos un abordaje de los procesos territoriales. Se propone identificar una territorialidad dada por la presencia y la vitalidad del recurso hídrico, analizando temporalmente la evolución urbana en relación a las fuentes de agua e interpretando las complejas dinámicas dadas entre el soporte físico y las comunidades que dieron origen al vínculo y posibilitaron el oasis. Se definirán bloques temporales puesto que los diferentes grupos sociales establecieron diversas relaciones con el ambiente. Una vez analizado el vínculo territorio y sociedad, el desafío es repensar el territorio en el contexto contemporáneo y replantearse sus límites y sus subdivisiones, de manera que se puedan formular políticas de desarrollo sustentable, no desde una perspectiva antropocéntrica sino a partir de una racionalidad ambiental y no económica. Probablemente, encontremos que estas individualidades territoriales, generalmente no coinciden con los límites geográficos determinados en las cartografías. El desafío es, ser capaces de identificar un territorio a partir de su esencia, y con esto, poder pensar en estrategias de desarrollo sustentable.

Tomaremos para la reflexión el caso del AMM. Se trata de una aglomeración urbana compuesta por una ciudad central que da nombre al área y una serie de ciudades satélites. Comprende la Capital de Mendoza y de los Departamentos de Guaymallén, Las Heras, Godoy Cruz, Maipú y Luján de Cuyo. Actualmente concentra el 62,5% de la población provincial. “Mendoza – Nuevo Valle de Rioja, fue una avanzada de la Capitanía General de Chile en el entonces territorio de Cuyo, cronológicamente una de las primeras fundaciones (1561) en el actual territorio de la República Argentina” (Ponte, 2008:20). Anteriormente, existió una población aborigen conformada por tribus huarpes que se estableció espontáneamente en los márgenes del Río Mendoza. Desde allí y en adelante, la importancia de los cursos de agua, en una región ubicada en la diagonal árida sudamericana, fue determinante para la instalación de las poblaciones y para las futuras expansiones urbanas. Podemos reconocer desde entonces la importancia del recurso hídrico como hito fundante, posibilitador, dador de vida y rector topográfico.

La periodización empleada, contempla cuatro etapas donde podemos advertir cambios significativos respecto de las concepciones de territorialidad por parte de los grupos sociales:

- a) El origen del oasis. Las comunidades huarpes que habitaron previo a la colonia (hasta 1561)

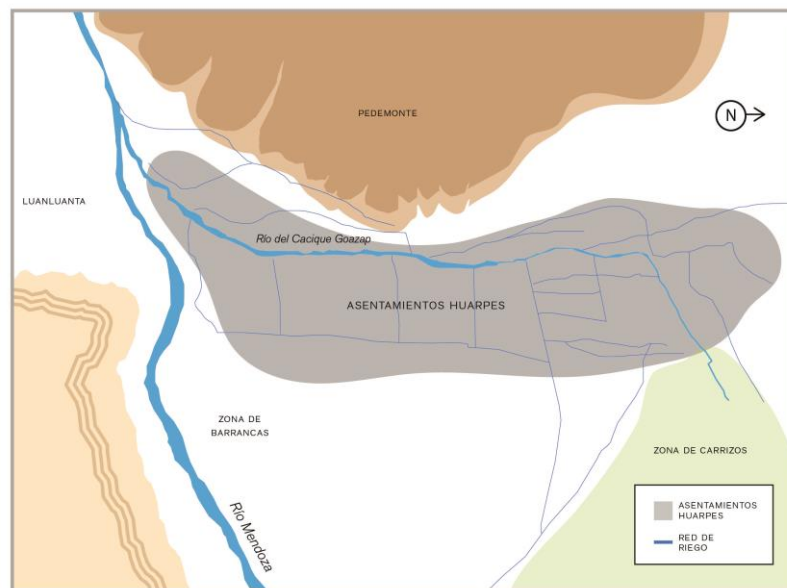
- b) La colonización española a partir de la fundación de la ciudad de Mendoza – Nuevo Valle de La Rioja (1561-1861)
- c) La ciudad nueva post-terremoto (1861- 1951)
- d) La ciudad contemporánea (1951-hasta nuestros días)

Resultados

a) El origen del oasis. Las comunidades huarpes que habitaron previo a la colonia (hasta 1561)

Resulta complejo precisar períodos temporales para las poblaciones que existieron antes de la llegada de los españoles. La construcción del conocimiento se ha desarrollado en base a la interpretación de documentos, reseñas, testimonios de los colonizadores y estudios arqueológicos desarrollados en la zona y en su gran mayoría, se trata de enunciados hipotéticos. En numerosos casos, encontramos referencia al manejo del recurso hídrico: “Varios documentos de los primeros tiempos de la conquista y colonización española aluden a un sistema de irrigación indígena, conformado por tomas y acequias y ligado a los principales ríos centrales de la Subárea –como el San Juan, el Mendoza y el Tunuyán- y a sus respectivos grandes conos de deyección” (Bárcena en Berberían & Nielsen, 2001:569).

Figura 1: Reconstrucción hipotética de los asentamientos previos a la Fundación de la Ciudad (1561) en el Área Metropolitana de Mendoza



Fuente: Elaboración propia a partir del asentamiento hipotético establecido por Ponte, 2006:39.

Del período Prehispánico Medio (2.000 A.P.), hay registros de un primer asentamiento en el margen sur del Río Mendoza, denominada Cultura Agrelo. Posteriormente (S. XIV-XV), durante el período Prehispánico tardío, las culturas denominadas Viluco, Incas y Huarpes cruzaron el Río y entendieron que desde la margen norte podían aprovechar la pendiente para irrigar los campos (Chiavazza & Ceruti, 2009:325). Este sería el motivo que da razón a la localización actual del AMM y determina su margen sur: el Río Mendoza.

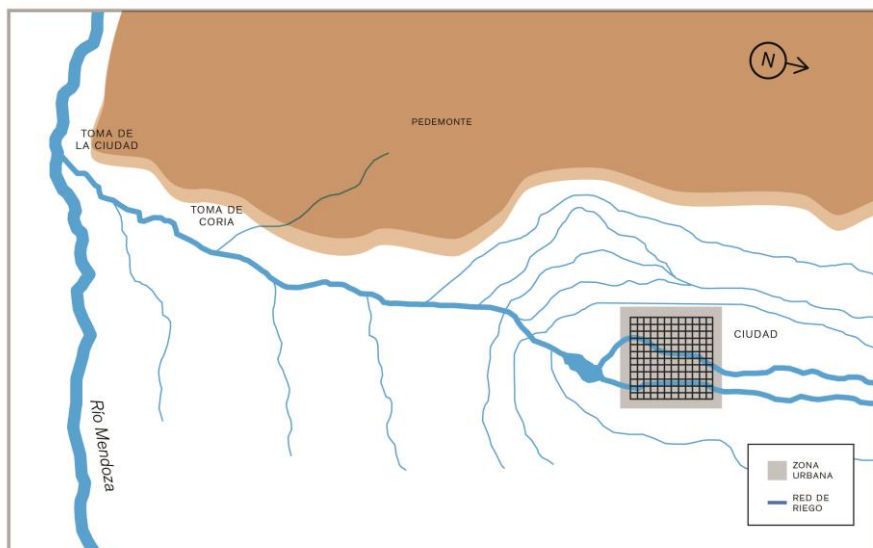
Según una infografía construida por Ponte (2006) a partir del Acta Capitular de Caciques Comarcanos de 1574, podemos aproximarnos a la estructura de los asentamientos huarpes y reconocerlo como el

primer antecedente concreto de la configuración territorial del AMM. Como observamos en la Figura 1, el área ocupada por los asentamientos era extensa. Esto hablaría de una dispersidad de pequeñas aldeas y caseríos aislados a lo largo del cauce conocido como Río del Cacique Goazap, un brazo del Río Mendoza que se originó a partir de una falla geológica. El curso principal se desarrolla en sentido sur-norte, de manera paralela y sobre las primeras estribaciones del cordón montañoso, y sus afluentes acompañan la pendiente oeste-este, lo cual configura una cuadrícula hídrica. Los cultivos, para subsistencia e intercambio, se adecuaron a un régimen de disponibilidad de agua y fueron irrigados a través del aprovechamiento de pendientes y cauces naturales.

Los huarpes dejaron un valioso legado: la red artificial de riego, que encauza el agua de deshielo de la Cordillera de los Andes para posibilitar la agricultura y el acceso humano al recurso. Supieron aprovechar las fallas geológicas para conducir el agua, y crearon una vasta red de canales que, hasta la actualidad, aparece como elemento protagónico de la ciudad y pone a Mendoza en la valiosa lista de ciudades con acequias. Los pueblos originarios, entendían al hombre como parte de la naturaleza, por lo tanto no concebían una lógica de la explotación de los recursos sino de una convivencia en armonía, aceptando la interdependencia de los componentes del sistema. El territorio no poseía un valor productivo y comercial sino integral. Esto explica la lógica huarpe en la canalización del recurso hídrico sin producir alteraciones ambientales, valiéndose de pendientes, fallas, elementos propios del terreno puestos al servicio de la configuración territorial. Evidentemente, el camino hacia el desarrollo sustentable no implicaría una evolución lineal temporal, sino la vuelta al vínculo primitivo entre el espacio y sus primeros habitantes. Esta racionalidad ambiental va a cambiar considerablemente con la llegada de los colonizadores españoles y su fundación de la Ciudad de Mendoza (1561) quienes introdujeron como estrategia civilizadora la dominación humana sobre el clima hostil. Visión occidental que determinará un nuevo vínculo entre las sociedades y el ambiente.

b) La colonización española a partir de la fundación de la ciudad de Mendoza – Nuevo Valle de La Rioja (1561-1861)

Figura 2: Primer plano poscolonial (1761) del Área Metropolitana de Mendoza



Fuente: Elaboración propia a partir del plano de 1761 en Ponte, 2006:126.

Actualmente archivado en el Museo Histórico de Chile, el Plano de 1761 es la primera representación gráfica del sistema hídrico mendocino, posterior a la fundación de la Ciudad en 1561. “Hacer historia

y arqueología urbana obliga comenzar con una reflexión teórica en cuanto a las características del urbanismo y su desarrollo en la América colonial, y metodológicas en cuanto a los procesos de transformación acelerada que denotan estos paisajes en la medida que experimentaron un proceso continuo de ocupación vinculado con diferentes situaciones ambientales” (Chiavazza, 2010:232). El protagonismo de los cursos de agua en el gráfico, nos habla de la vitalidad del sistema en el planeamiento de la ciudad fundacional.

Lo autóctono, lo local, lo aborígen, fue despreciado por los conquistadores españoles. Fue entonces cuando se produjo una gran alteración del paisaje originario, con la introducción progresiva de especies exóticas, que demandaban un alto consumo de agua. Los colonizadores encontraron un paisaje dotado de grandes tierras baldías, a diferencia de lo que sucedía en las ciudades europeas, lo cual promovió el progresivo cambio de escala y complejidad de los asentamientos indígenas. Sin embargo, se concentraron en un área reducida abastecida por el Canal Zanjón, actualmente conocida como Área Fundacional, dando origen a la primer cuadrícula cartesiana de la región. “Como el resto de las ciudades nacidas bajo el signo de la conquista y colonización española presentó durante las tres primeras centurias de su existencia una estructura urbana que no difirió demasiado de las del resto de las ciudades diseminadas por el territorio argentino” (Cantón, de Rosa, & Kasperidus, 2003:30). Las características dominantes de la traza fueron las del urbanismo francés: plaza central y plazas periféricas, calles anchas, bulevares y arboledas.

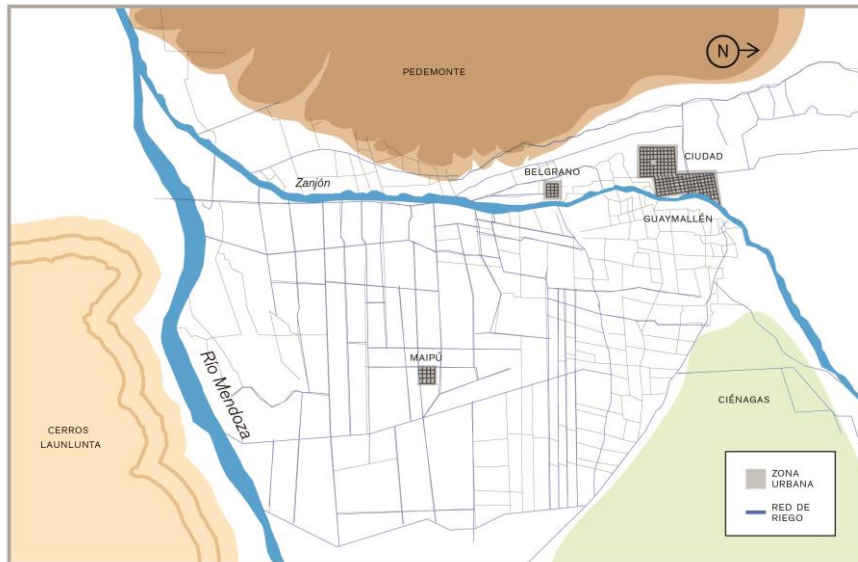
Los conquistadores fueron progresivamente avanzando sobre las tierras ocupadas por los huarpes, apropiándose tanto de lo tangible como de lo intangible e imprimiendo sobre el territorio símbolos que evidenciaran quienes eran los nuevos propietarios de la tierra. Así, el sistema de irrigación huarpe que fue tomado como hito determinante para la fundación de la nueva ciudad, fue expropiado y perdió sus nombres originarios en Millcayac (lengua huarpe), para ser reemplazados, frecuentemente, por los apellidos de quienes ocuparon el territorio. Debido a la baja densidad poblacional del período, no podemos hablar de significativas alteraciones a la red de riego original, pero sí del origen de un modelo de desarrollo urbano que comenzó por subordinar los recursos naturales a las demandas humanas, sin importar los costos que esto implique para el ambiente. Esta cosmovisión, traída desde tiempos de la colonia, se mantiene hasta nuestros días y nos diferencia considerablemente de la conciencia ecológica de los pueblos originarios.

Podríamos abordar la mirada colonizadora sobre el territorio, desde las definiciones de Godelier, por el sentido de conquista y dominación humana del espacio. Asimismo, el imperativo territorial de Ardrey describe esa compulsión instintiva del hombre que explica la apropiación y defensa del territorio como propio, característica que comparten las ciudades dotadas de Estado. Para los invasores, los territorios anexados representaban una posibilidad concreta de crecimiento económico a través del control de las rutas comerciales. Estaríamos entonces, ante una noción de territorialidad dada por el control humano sobre un espacio determinado, en donde poder garantizar la subsistencia y donde la única amenaza la representen idénticos sentimientos de invasión, dentro de la misma especie. No hay testimonios ni evidencias que hablen de una preocupación ambiental durante este período. Desde el paradigma colonizador, la naturaleza aparece como una fuente inacabable de recursos y el territorio es el lugar de aplicación del poder.

La ciudad nueva post-terremoto (1861- 1951)

Trescientos años después de la fundación, el terremoto de 1861 arrasó con los asentamientos construidos durante y previos a la colonia, y dio lugar a la construcción de la Ciudad Nueva, actual microcentro de la Capital de Mendoza.

Figura 3: Plano territorial de 1896 del Área Metropolitana de Mendoza



Fuente: Elaboración propia a partir del plano de 1896 en Ponte, 2006:206.

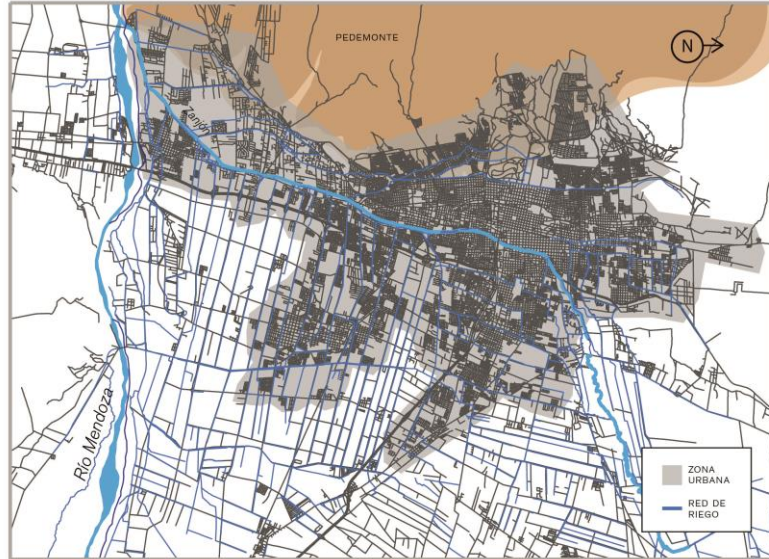
En la Figura 3, observamos que el Río Mendoza se consolida como el borde sur del AMM. Hacia el oeste, el límite está dado por el curso del Canal Zanjón aunque algunas hijuelas menores posibilitan la aparición de parcelas hacia el oeste del mismo, actualmente Chacras de Coria, Villa Hipódromo, etc. En el margen sur, el borde territorial se conforma a manera de “embudo” entre el Río Mendoza y las tierras ocupadas por ciénagas. Podemos identificar así un polígono determinado por el recurso hídrico lo cual manifiesta la vitalidad del mismo en la configuración territorial.

A partir de la Revolución Industrial que estalló en Europa en Siglo XVIII, el espacio urbano cambió de carácter. Las ciudades latinoamericanas no fueron ajenas a este proceso y progresivamente fueron mutando para adaptarse a las nuevas necesidades de la economía mundial. El acelerado crecimiento poblacional, la modernización de infraestructuras, el repentino desarrollo industrial y comercial, se ponen en evidencia en la configuración del AMM durante este período. Ya hacia fines del S. XIX, se puede observar la convivencia entre lo que quedara de la Ciudad Vieja y la Ciudad construida post terremoto. Se advierte un nuevo proceso de ordenamiento territorial, que incorporó la noción de planeamiento estratégico, priorizando los sistemas de producción y las rutas de intercambio. Retomando a Santos, la regulación espacial a partir de la industrialización, estuvo determinada por las necesidades del mercado. La demanda energética, como de recursos hídricos aumento exponencialmente. “Las transformaciones del espacio de la ciudad colonial en su paso a ciudad moderna, y posteriormente a ciudad industrial, tienen significativas implicaciones ambientales” (Sedrez, 2013:62). Esta adecuación acelerada, generó altos niveles de vulnerabilidad tanto social como ambiental, puesto que el acceso a los recursos al interior del AMM no fue homogéneo. Los conflictos entre clases y las múltiples contradicciones de la sociedad capitalista se plasmaron directamente sobre el territorio.

c) La ciudad contemporánea (1951-hasta nuestros días)

Desde las culturas prehispánicas a esta parte, es imposible separarse de la vitalidad del recurso hídrico en la configuración del territorio mendocino. El gran Canal Zanjón, funciona desde entonces como un eje direccional y estructurador de la ciudad. Es una clara evidencia de que en el territorio conviven el diseño de irrigación que supo construir la cultura huarpe con el trazado cartesiano de la ciudad colonial y los posteriores procesos de expansión urbana.

Figura 4: Plano territorial actual del Área Metropolitana de Mendoza



Fuente: Elaboración propia.

Producto de la globalización, estamos ante un territorio heterogéneo y fragmentado en el que se superponen actividades contrastadas. Las nuevas infraestructuras requeridas (viales, hidráulicas, inmobiliarias, energéticas) son impulsadas por inversiones extranjeras y las demandas actuales del mercado y continúan provocando transformaciones territoriales que podrían atentar contra el débil equilibrio en que se sustenta el oasis. Los problemas de carácter ambiental se manifiestan tanto al centro como en los bordes del área de estudio. El acelerado proceso de urbanización, provocó centralizaciones funcionales que implican una alta densidad en las zonas neurálgicas. Este fenómeno es conocido como macrocefalia urbana. La desigualdad está dada en las dimensiones de población, de empleo, de acceso a los servicios, de la administración del poder, de infraestructuras, comunicación y tecnologías.

En los márgenes periurbanos del AMM se localizan asentamientos espontáneos con altos niveles de necesidades básicas insatisfechas. En la mayoría de los casos, el acceso al recurso hídrico es limitado lo cual produce situaciones de extrema pobreza y marginalidad. Estos desequilibrios territoriales potencian los problemas ambientales pues muchas veces, las comunidades terminan abasteciéndose precariamente. El piedemonte aparece como terreno fértil para grandes inversiones inmobiliarias, lo cual implica un crecimiento de la red de agua potable en contra de la pendiente natural y un avance depredador sobre la flora y la fauna nativa. No existe hasta el momento, un Plan de Ordenamiento Territorial consensuado que estructure el desarrollo urbano a partir de la disponibilidad del recurso hídrico. Desde el año 2012 se encuentra en debate un proyecto basado en una visión tecnocrática y productiva que no prioriza el desarrollo urbano a partir de una conciencia ambiental.

Conclusiones

La territorialidad del agua sería entonces una lógica espacial reglada por el uso del recurso hídrico. Como hemos podido ver en el análisis cartográfico, para el caso del AMM, la cuenca norte del Río Mendoza sería la posibilitadora. Un límite orgánico, cultural y ecosistémico. Pensar en la territorialidad de las cuencas, sería respetar la lógica intrínseca del oasis. Permitiría identificar para cada fuente de agua una política determinada de acción y por consiguiente, implicaría una ética de sustentabilidad que denuncie la funcionalidad de las fragmentaciones territoriales al servicio de la acumulación de poder, heredado desde los tiempos de la colonia. Implica también, pensar en la relación hombre–naturaleza como principio epistémico fundamental para la ciencia contemporánea y refuerza la idea de pensar el manejo de los recursos desde las comunidades y no a partir de un desarrollo impuesto por un modelo hegemónico.

Ante el escenario actual de escasez del recurso hídrico creemos ineludible una planificación territorial basada en la sostenibilidad ecosistémica a partir de la regulación hídrica. En la Provincia de Mendoza, estudios científicos dan cuenta del incremento constante de las temperaturas medias. Los modelos atmosféricos ya denotan las consecuencias del llamado calentamiento global, se ha incrementado la humedad durante los veranos, han disminuido las precipitaciones invernales en alta montaña y se observa una severa retracción de los glaciares. Como resultado de la disminución en la acumulación nívea, desde el año 2010 Mendoza ha declarado a través del Departamento General de Irrigación la Emergencia Hídrica. Esto significa que los ríos transportan un volumen de agua que no alcanza las medias históricas. Para el año 2020, la escasez de agua acentuará con el crecimiento poblacional, bajando la disponibilidad del Río Mendoza a 1154 m³/año/habitante, muy por debajo de la situación crítica. A la creciente demanda y la disminución de la oferta, se le suma el uso deficiente del recurso tanto a nivel rural como urbano. Resulta necesario, una ordenación explícita y consciente, que no solo priorice la acumulación de capital si no que impulse una relación cultural entre los seres humanos y la naturaleza donde las comunidades sean las que regulen el uso de los recursos y no expongan los mismos al mercado de la oferta. Volver a los saberes de nuestros ancestros, reconocer en los huarpes su vocación por el respeto sobre lo natural, aceptar nuestra dependencia absoluta sobre la disponibilidad de los recursos y optimizar su uso, de manera de convivir armoniosamente con la naturaleza y no considerarla como una mercancía, lejos de las escisiones, conociéndola y cuidándola, debiera ser una actitud impostergable.

Bibliografía

- Ardrey, R. (1966). *The Territorial Imperative: A Personal Inquiry into the Animal Origins of Property and Nations*. New York: Atheneum. Recuperado de: <http://ir.nmu.org.ua/>
- Bárcena, J. (2001). Prehistoria del centro-oeste argentino. En: E. Berberían, & A. Nielsen, *Historia Argentina Prehispánica* (Vol. 2, pp. 561-634). Córdoba: Brujas.
- Cantón, M. A., de Rosa, C., & Kasperidus, H. (2003). Sustentabilidad del bosque urbano en el Área Metropolitana de la Ciudad de Mendoza. Análisis y diagnóstico de la condición de las arboledas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (Vol. VII, pp. 29-34). Recuperado de: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2003/2003-t001-a006.pdf>
- Chiavazza, H. (2010). Procesos sociales y ambientales en el sector urbano de Mendoza entre los Siglos XV-XVIII: arqueología urbana e historia ambiental. *Comechingonia virtual*, (Vol. IV, pp. 227-

- 253). Recuperado de: <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/comechingonia/article/view/6217/7313>
- Chiavazza, H., & Ceruti, C. (2009). Arqueología de ciudades americanas del siglo XVI. Mendoza: Facultad de Filosofía y Letras, UNCuyo.
- Gifford, R. (1987). Environmental Psychology: Principles and Practice. Boston: Allyn and Bacon.
- Godelier, M. (1989). Lo ideal y lo material. Pensamiento, economías, sociedades. Madrid: Taurus Humanidades. Recuperado de: <https://circulodeestudiosantropologicos.files.wordpress.com>
- Harvey, D. (1977). Urbanismo y desigualdad social. Madrid: Siglo XXI de España Editores S.A.
- Montaña, E. (2008). Las disputas territoriales de una sociedad hídrica. Conflictos en torno al agua en Mendoza, Argentina. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, (Vol. IX, pp. 1-17). Recuperado de: http://redibec.org/IVO/rev9_01.pdf
- Ponte, J. R. (2006). De los caciques del agua a la Mendoza de las acequias. Cinco siglos de historia de acequias, zanjones y molinos. Mendoza: INCIHUSA - CONICET.
- Ponte, J. R. (2008). Mendoza, aquella ciudad de barro. Ilustrado. Historia de una ciudad andina desde el siglo XVI hasta nuestros días. Buenos Aires: CONICET.
- Sack, R. (1986). Human Territoriality: its Theory and History. New York: Cambridge University Press. Recuperado de: <http://www.cambridge.org/es/academic/>
- Santos, M. (2000). La naturaleza del espacio. Barcelona: Ariel S. A.
- Santos, M. (2009). Espacio y Método. Algunas reflexiones sobre el concepto de espacio. Gestión y Ambiente, (Vol. XXII, pp. 147-148). Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/1694/169414454011.pdf>
- Sedrez, L. (2013). Naturaleza urbana en América Latina. Ciudades diversas y narrativas comunes. RCC Perspectives, (Vol. VII, pp. 59-66). Recuperado de: <http://www.environmentandsociety.org/sites/>
- Sosa Velásquez, M. (2012). ¿Cómo entender el territorio? Guatemala: CARA PARENS. Recuperado de: <http://www.rebellion.org/docs/166508.pdf>
- Torres, L., Abraham, E., & Pastor, G. L. (2014). Ventanas sobre el territorio: herramientas teóricas para comprender las tierras secas. Mendoza: EDIUNC.

Autor

Marilina Brandi Brachetta. Arquitecta. Becaria Doctoral CONCIET. mbrandi@mendoza-conicet.gob.ar

Índice de sostenibilidad en el periurbano de Mar del Plata

Micaela Tomadoni¹, Laura Zulaica²

Resumen

Las ciudades latinoamericanas, y especialmente las áreas de expansión sin planificación adecuada, enfrentan desafíos para revertir problemáticas que amenazan su sostenibilidad. El presente trabajo evalúa la sostenibilidad en el territorio periurbano de Mar del Plata a partir de indicadores propuestos por el BID en la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES). Se construyó un índice sintético, Índice de Sostenibilidad (IS) que surge de la integración de 34 indicadores que componen la Sostenibilidad Urbana y Ambiental en ICES. Los resultados se representaron espacialmente (gvSIG). Se verifican correspondencias entre los valores extremos de los indicadores en las distintas unidades espaciales. Los indicadores referidos a ordenamiento territorial, educación, energía y saneamiento y drenaje, poseen mayor incidencia en la distribución del IS. La base de indicadores propuesta constituye un instrumento útil para la gestión de este espacio complejo, cuyos resultados revelan situaciones más críticas de sostenibilidad cuando se las compara con el área urbana.

Palabras clave: indicadores de sostenibilidad; crecimiento urbano; gestión urbana y ambiental; desarrollo sostenible.

Sustainability index in the peri-urban of Mar del Plata

Abstract

Latin American cities, and especially the areas in expansion without adequate planning, are facing challenges to reverse the problems that are threatening their sustainability. The present study evaluates the sustainability of the peri-urban of Mar del Plata (Argentina) taking into consideration indicators proposed by the Inter-American Development Bank for the Emerging and Sustainable Cities Initiative (ESCI). A synthetic index was built, Sustainability Index (SI) that integrates thirty-four indicators that make up the Urban and Environmental Sustainability in ESCI. The results were represented spatially (gvSIG). Connections were verified between the extreme values of the

¹ Becaria CIC – Instituto del Hábitat y del Ambiente (IHAM), Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Tel/fax: +54-223-475-3946. E-mail: m_tomadoni@yahoo.com.ar

² CONICET – Instituto del Hábitat y del Ambiente (IHAM), Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Tel/fax: +54-223-475-3946. E-mail: laurazulaica@conicet.gov.ar

indicators in the different spatial units. The indicators referred to land use zoning, education, energy and sanitation and drainage, have a higher incidence in the SI distribution. The proposed group of indicators constitutes a useful tool for the management of this complex area, the results show a more critical situation of sustainability when compared to the urban area.

Keywords: indicators of sustainability; urban growth; urban and environmental management; sustainable development.

Introducción

El proceso de expansión urbana, con muy bajas densidades y sin ningún patrón de planificación, conlleva consecuencias directas e inmediatas sobre el territorio; la ocupación de áreas naturales, zonas de riesgo, suelos de alto potencial agrícola, la contaminación de zonas de recarga acuífera y de fuentes de agua, son algunos de sus efectos (Acuña Araya, 2001).

En América Latina y el Caribe casi el 80% de la población reside actualmente en ciudades siendo considerada la región más urbanizada del mundo. Sin embargo, en su crecimiento, las áreas urbanas manifiestan un deterioro generalizado del entorno y una profunda desigualdad social (ONU-Hábitat, 2012), que evidencian desajustes y tensiones sociales y ambientales.

En respuesta a la realidad actual de las ciudades intermedias de América Latina y el Caribe, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) creó en 2011 la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), la cual utiliza un enfoque multidisciplinario para abordar los desafíos que enfrentan dichas ciudades.

La Iniciativa mencionada (ICES) define una ciudad sostenible como aquella que ofrece una alta calidad de vida a sus habitantes, que minimiza sus impactos al medio natural, y que cuenta con un gobierno local con capacidad fiscal y administrativa para mantener su crecimiento económico y para llevar a cabo sus funciones urbanas, con la participación ciudadana; a partir de esta definición, se desprende que para lograr esta sustentabilidad en una ciudad, es necesario analizar al menos tres dimensiones: 1) la sostenibilidad ambiental y capacidad de respuesta al cambio climático, 2) el desarrollo urbano sostenible y 3) la sostenibilidad fiscal y de gobierno (BID, 2012a).

Partiendo de esas dimensiones y a fin de analizar el estado actual de una ciudad en términos de sostenibilidad, se definen indicadores de desempeño agrupados en función de temas de interés para la gestión local. En relación con ello, la evaluación del desempeño de la gestión pública, está en el centro de quienes toman las decisiones en los distintos niveles de gestión (nacional, regional y local). Los beneficios de la evaluación a través de indicadores de desempeño son múltiples; entre ellos se destacan los siguientes: apoya el proceso de planificación y de formulación de políticas de mediano y largo plazo; posibilita la detección de procesos o áreas de la institución en las cuales existen problemas de gestión; permite realizar ajustes en los procesos internos y readecuar cursos de acción; establece mayores niveles de transparencia respecto del uso de los recursos públicos; apoya la introducción de sistemas de reconocimiento tanto institucional como individual, entre otros beneficios (Armijo, 2011).

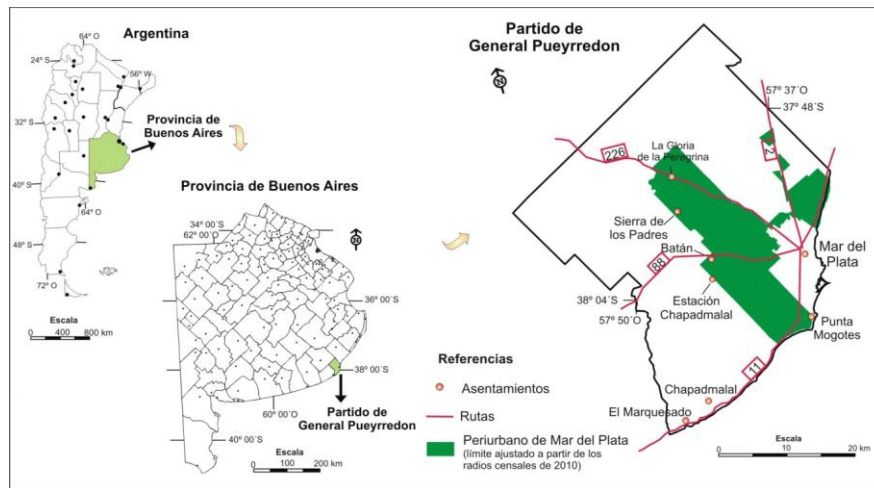
Los indicadores brindan información exacta para orientar la formulación de políticas y facilitan la comparación entre distintos ámbitos; además, permiten demostrar los impactos y retos de políticas o planes sobre la sostenibilidad (Munier, 2005).

En la Agenda 21, el plan de acción adoptado en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro, solicita a los países, así como a organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, desarrollar indicadores de desarrollo sostenible a fin de proporcionar una base sólida para la toma de decisiones en todos los niveles (CSD, 2007).

Desde ese momento, los indicadores de sostenibilidad adquieren un reconocimiento cada vez mayor como herramientas útiles para la formulación de políticas y la comunicación pública sobre el desempeño de la gestión en problemas clave para las ciudades actuales.

En el contexto mencionado, las ciudades latinoamericanas, y especialmente las áreas de expansión sin planificación adecuada, enfrentan desafíos cada vez mayores para revertir problemáticas que amenazan su sostenibilidad. Esto sucede en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata³, provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1), cuyas problemáticas fueron descritas en estudios previos (Ferraro et al., 2013; Zulaica, 2013; entre otros).

Figura 1. Localización del periurbano de Mar del Plata.



Fuente: Zulaica (2013).

En el marco de ICES, la ciudad de Mar del Plata fue elegida en marzo de 2012 para participar del Programa (BID, 2012b). De acuerdo con la misma fuente, la aplicación de esta metodología durante el año 2012, permitió contar con un diagnóstico actualizado e integral de los problemas que afectan su sostenibilidad ambiental, urbana y fiscal. Sin embargo, poco se ha llegado a profundizar sobre las diferenciaciones internas del territorio periurbano a la luz de los indicadores considerados en el diagnóstico.

Tomando como base estudios antecedentes (Tomadoni et al., 2014; Zulaica y Tomadoni, 2015) y a fin de profundizar en el conocimiento de la sostenibilidad en la zona de transición urbano-rural de Mar del Plata, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad del periurbano marplatense considerando algunos de los indicadores propuestos por el modelo del BID para dos dimensiones de interés: la urbana y la ambiental. Para ello se construye un índice sintético, Índice de

³ El periurbano de Mar del Plata alcanza 34.071 ha y según los datos del censo nacional de 2010 posee 125.143 habitantes, es decir, casi el 20,2% del total de la población censada en el partido de General Pueyrredon en ese año (618.989 habitantes).

Sostenibilidad (IS), conformado por la sumatoria de dos índices: de Sostenibilidad Urbana (ISU) y de Sostenibilidad Ambiental (ISA)⁴.

El IS constituye, de acuerdo con Schuschny y Soto (2009), un indicador compuesto, es decir una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente. Esta representación permite establecer umbrales, es decir, puntos de inflexión relevantes en la implementación de políticas tendientes a la sostenibilidad, indispensables para la toma de decisiones.

El periurbano de Mar del Plata adquiere un interés particular en la gestión urbana dado que muchos de los temas implicados en las dimensiones urbana y ambiental de la sostenibilidad expresan situaciones de máxima conflictividad cuando se las compara con las áreas típicamente urbanas.

Metodología

Se construyó un índice sintético, Índice de Sostenibilidad (IS), que permite evaluar elementos clave que hacen a la sostenibilidad del periurbano marplatense en sus aspectos urbanos y ambientales, incluyendo en esta última dimensión la capacidad de respuesta al cambio climático. El índice integra algunos indicadores de estas dimensiones contempladas por ICES, cumpliendo con un objetivo social que es el de mejorar la comunicación y establecer comparaciones.

En la construcción del IS se tomaron como base los estudios realizados por Tomadoni et al. (2014)⁵ y Zulaica y Tomadoni (2015)⁶, mediante la técnica de Puntaje Omega. Se utilizaron para ello métodos y fuentes de información específicas, expuestos en los trabajos citados. El IS intenta evaluar aspectos objetivos de la sostenibilidad urbana y ambiental a partir de indicadores cuantitativos. Las unidades de referencia espacial de este estudio son los radios censales de 2010 (INDEC, 2010), de los cuales se dispone de información desagregada que permite analizar las diferencias al interior del territorio periurbano.

Tal como se especifica en los estudios antecedentes, la lista de indicadores que responden a las dimensiones abordadas de la sostenibilidad en el periurbano marplatense, se componen de ocho temas para la sostenibilidad urbana y ocho para la ambiental. La nomenclatura de las categorías consideradas y los indicadores integrados en cada una de ellas se ajustaron en función de la información disponible y posible de desagregar en radios censales, que constituyen las unidades de análisis en este trabajo. Las distintas categorías se ponderaron para alcanzar una escala del IS comprendida entre 0 (peor situación) y 1 (mejor situación), asignándole a cada una de ellas un peso relativo definido por la importancia en el contexto general y por la cantidad de indicadores que agrupan. Cada dimensión puede alcanzar un valor máximo de 0,5. La lista con los temas abordados, los indicadores considerados y los valores de ponderación (VP) asignados para construir el índice, se presentan en la Tabla 1. Posteriormente, se elaboró una base de datos georreferenciada (gvSIG, versión 1.11).

⁴ Parte de los resultados aquí expuestos fueron presentados en el III Congreso Latinoamericano y Caribeño de Ciencias Sociales, organizado por FLACSO Ecuador y realizado en Quito, agosto de 2015.

⁵ Disponible en: <http://faud.mdp.edu.ar/revistas/index.php/ia>

⁶ Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/50120/46582>

Tabla 1. Temas, indicadores y valores de ponderación (VP) utilizados en la construcción del Índice de Sostenibilidad (IS).

| | Temas | Indicadores | VP |
|--------------------------|---|--|-------|
| Sostenibilidad Urbana | Ordenamiento territorial | Densidad de población | 0,020 |
| | | Porcentaje de viviendas de tipo inconveniente | 0,020 |
| | | Porcentaje de hogares con hacinamiento severo (más de tres personas por cuarto) | 0,020 |
| | | Porcentaje de viviendas particulares ocupadas | 0,020 |
| | | Porcentaje de hogares con baño de uso exclusivo | 0,020 |
| | | Porcentaje de hogares sin heladera | 0,020 |
| | | Porcentaje de hogares sin computadora | 0,020 |
| | | Superficies de espacios verdes respecto de la población del radio | 0,020 |
| | Inequidad urbana | Porcentaje de hogares con al menos un indicador de NBI | 0,040 |
| | Movilidad | Porcentaje de la superficie del radio con cobertura de servicio de transporte público a menos de 300 metros | 0,020 |
| | Empleo | Índice de dependencia potencial | 0,020 |
| | | Tasa de desocupación | 0,040 |
| | Conectividad | Porcentaje de población en hogares con teléfono celular | 0,020 |
| | Educación | Tasa de analfabetismo | 0,040 |
| | | Porcentaje de población de 3 años y más que utiliza computadora en viviendas particulares | 0,020 |
| | | Porcentaje de la superficie del radio a menos de 500 metros de un establecimiento educativo | 0,020 |
| | | Porcentaje de la población de 18 años o más que cursa o cursó nivel terciario o universitario | 0,020 |
| | Seguridad ciudadana | Porcentaje de robos respecto del total registrado en el Partido | 0,020 |
| | | Porcentaje de robos con violencia respecto del total registrado en el Partido | 0,020 |
| | | Porcentaje de homicidios dolosos respecto del total registrado en el Partido | 0,020 |
| Salud | Porcentaje de superficie del radio a menos de 500 metros de un centro de salud público. | 0,040 | |
| Sostenibilidad Ambiental | Agua | Porcentaje de hogares con disponibilidad de servicio de agua de red pública | 0,050 |
| | | Porcentaje de hogares sin provisión de agua dentro de la vivienda | 0,050 |
| | | Consumo anual de agua per cápita | 0,025 |
| | Saneamiento y drenaje | Porcentaje de hogares con disponibilidad de servicio de desagüe cloacal | 0,050 |
| | | Porcentaje de hogares con instalación sanitaria con descarga de agua | 0,050 |
| | Residuos sólidos | Cantidad de residuos generados per cápita | 0,025 |
| | Energía | Porcentaje de hogares con disponibilidad de servicio de gas de red | 0,025 |
| | Calidad del aire | Porcentaje de la superficie del radio a menos de 300 m de fuentes de contaminación | 0,025 |
| | Mitigación del cambio climático | Emisiones gases de efecto invernadero (CO ₂) en toneladas generadas en función del consumo de energía | 0,025 |
| | Ruido | Porcentaje de superficie del radio a menos de 300 m de fuentes de ruido | 0,025 |
| | Vulnerabilidad ante desastres | Porcentaje de superficie del radio vulnerable a inundaciones | 0,050 |
| | | Porcentaje de áreas ocupadas por actividades que impliquen riesgos ambientales o que limiten a 300 m de esas áreas | 0,050 |
| | | Porcentaje de superficie del radio ocupada por asentamientos informales | 0,050 |

Fuente: Elaboración propia a partir de Tomadoni et al. (2014) y Zulaica y Tomadoni (2015).

Una vez obtenidos los valores para los distintos indicadores seleccionados se estandarizaron con la finalidad de transformarlos en unidades adimensionales que permitan establecer comparaciones (Buzai, 2003). En este caso, se utilizó la técnica de Puntaje Omega.

Este procedimiento transforma los datos de los indicadores llevándolos a un intervalo comprendido entre 0 y 1, valores que corresponden a los datos mínimos y máximos, respectivamente. En este caso, el valor más alto (1) expresa la mejor situación de cada uno de los indicadores, mientras que el más bajo exhibe (0) la peor condición. El IS implica la construcción previa de un Índice de Sostenibilidad Urbana (ISU) y otro de Sostenibilidad Ambiental (ISA), cuyo valor máximo (mejor condición) puede alcanzar 0,5.

La sumatoria de los resultados obtenidos para ambas dimensiones, expresa el valor del IS en cada unidad espacial. Las fórmulas utilizadas en la estandarización de los indicadores se presentan a continuación según su sentido positivo o negativo:

Indicadores cuyo incremento implica peor situación relativa:

$$VE = (M - d) / (M - m) * VP$$

Indicadores cuyo incremento implica mejor situación relativa:

$$VE = [1 - (M - d) / (M - m)] * VP$$

Donde: VE: valor estandarizado del indicador; d: dato original a ser estandarizado; M: mayor valor del indicador; m: menor valor del indicador; y VP: valor de ponderación del indicador.

Una vez calculados los valores estandarizados para cada uno de los indicadores, se sumaron los resultados obtenidos en cada radio, definiéndose así el IS, el cual queda expresado de la siguiente forma:

$$IS = \sum VESU + \sum VESA$$

Donde: VESU: valor estandarizado de los indicadores de Sostenibilidad Urbana; y VESA: valor estandarizado de los indicadores de Sostenibilidad Ambiental.

Los resultados obtenidos para cada uno de los temas se representaron espacialmente en mapas elaborados en gvSIG 1.11 y se analizó su situación en particular. La integración de los resultados obtenidos en un índice, permitió diferenciar cinco categorías para cada una de las dimensiones y para el índice final, que reflejan las situaciones favorables, intermedias y desfavorables (Sostenibilidad: crítica, baja, media, alta y muy alta). La configuración espacial se obtuvo en estos casos a partir de la clasificación en intervalos por *cortes naturales*. Este método identifica los puntos de ruptura entre las clases utilizando una fórmula estadística (optimización de Jenk), que minimiza la suma de la varianza dentro de cada una de las clases.

Resultados

De acuerdo con ICES, la sostenibilidad ambiental y de cambio climático se basa en tres pilares que son analizados a través de los indicadores: *i.* manejo del ambiente y consumo de recursos naturales; *ii.* mitigación de gases de efecto invernadero y otras formas de contaminación, promoviendo el uso de fuentes alternativas de energía; y *iii.* la reducción de la vulnerabilidad de la ciudad frente a los peligros y la adaptación al cambio climático. Por su parte, se consideran cuatro pilares de la sustentabilidad urbana: *i.* el control del crecimiento y la provisión de un hábitat adecuado para sus

ciudadanos; *ii.* la promoción de un transporte urbano sostenible; *iii.* la promoción de la competitividad y un desarrollo local sostenibles; y *iv.* el suministro de servicios sociales de calidad y niveles óptimos de seguridad ciudadana (Municipio de General Pueyrredon, 2013).

El análisis de la distribución de los indicadores de sostenibilidad urbana y ambiental en el periurbano de Mar del Plata, intenta profundizar en las diferenciaciones territoriales al interior de este espacio complejo. Tal como señalan Tomadoni et al. (2014) y Zulaica y Tomadoni (2015), si bien en el conjunto del Partido, los informes del Municipio indican que la situación para la ciudad es en general favorable en el contexto de las ciudades evaluadas en ICES, coexisten diferencias significativas especialmente en esta área de transición urbano-rural, que se manifiestan en los distintos temas.

De esta manera, los resultados obtenidos demuestran la existencia de correlaciones entre los valores extremos de los indicadores en las distintas unidades espaciales en cada uno de los temas considerados.

Cuando se analiza la distribución espacial del IS en el periurbano marplatense (Figura 2), se verifican las mejores condiciones (sostenibilidad muy alta, IS: 0,719-0,826) en los barrios Aeroparque, Grosellar, un sector de Zacagnini, La Florida, Los Tilos, en el Bosque Peralta Ramos, un sector de Faro Norte, de Sierra de Los Padres y San Jacinto, Don Emilio, Libertad y en el área en la que se localizan barrios cerrados hacia el sur. Las condiciones de sostenibilidad alta (IS: 0,665-0,715) se presentan en los barrios General Belgrano, Las Américas, El Jardín de Peralta Ramos, El Jardín de Stella Maris, Alfar, sectores de Zacagnini, Virgen del Luján, Florentino Ameghino, Don Emilio, San Jacinto, Playa Serena y Acantilados. Se destacan en este rango, Estación Chapadmalal y un área de Batán y Sierra de los Padres.

La sostenibilidad media (IS: 0,605-0,656) se adquiere principalmente en las proximidades del aeropuerto, en sectores de los barrios Fray Luis Beltrán, Parque Camet, Félix U. Camet. También se destaca esta situación en Hipódromo, Las Margaritas y áreas de Parque Palermo, General Belgrano y Antártida Argentina. Integran además esta categoría una zona de Batán y Colinas Verdes.

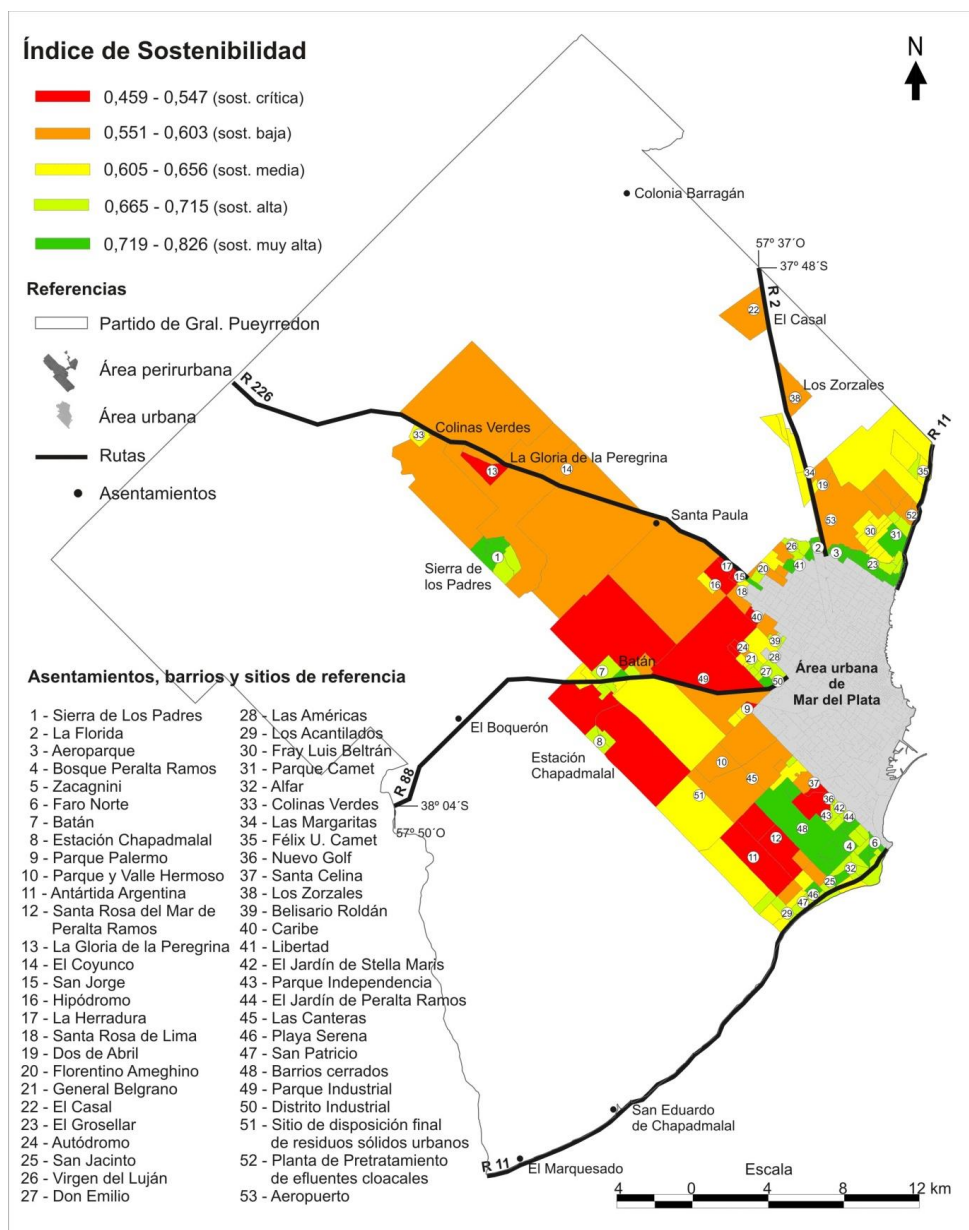
Valores bajos del Índice (sostenibilidad baja, IS: 0,551-0,603) se registran en el área de localización del aeropuerto y en Parque Camet, en Santa Rita, Dos de Abril, Belisario Roldán, Parque Hermoso, Las Canteras, Santa Celina, en el sector que integra el distrito industrial sobre la Ruta 88 y en la zona con características de ruralidad definida a partir del eje de la Ruta 226.

Por último y en el otro extremo de la sostenibilidad (sostenibilidad crítica, IS: 0,459-0,547) se encuentran los barrios San Jorge, Autódromo, La Herradura, Caribe, Nuevo Golf, Parque Independencia, Antártida Argentina, Quebradas de Peralta Ramos. Se destacan La Gloria de la Peregrina y áreas alejadas del ejido urbano con predominancia de actividades asociadas con el medio rural, tales como las zonas próximas a Estación Chapadmalal y Batán.

Al analizar los índices por temas que componen cada una de las dimensiones del IS (Figura 3), se observa que, respecto de la sustentabilidad urbana, aquellos relativos a ordenamiento territorial (vivienda, ocupación del suelo) y educación definen, en general, las situaciones más favorables y desfavorables en gran parte de las unidades espaciales. Ello se puede corroborar al aplicar el coeficiente de correlación lineal, o *r de Pearson*, que alcanza 0,735 para el caso de ordenamiento territorial y 0,734 para educación. El coeficiente mencionado, que mide el grado de relación lineal entre las variables, muestra en ambos casos una correlación positiva alta que se verifica en los

gráficos de dispersión (Figura 4). En dichos gráficos, el eje y representa el ISU en tanto que en el eje x se observan los valores estandarizados de cada tema.

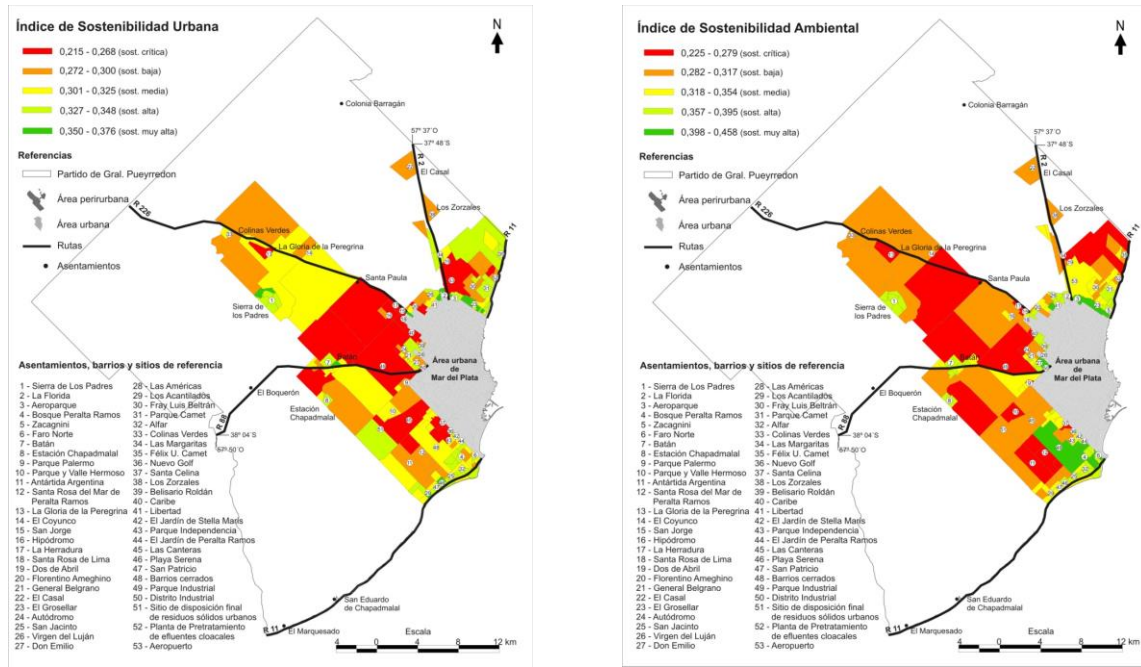
Figura 2. Periurbano de Mar del Plata: Índice de Sostenibilidad.



Fuente: Elaboración propia.

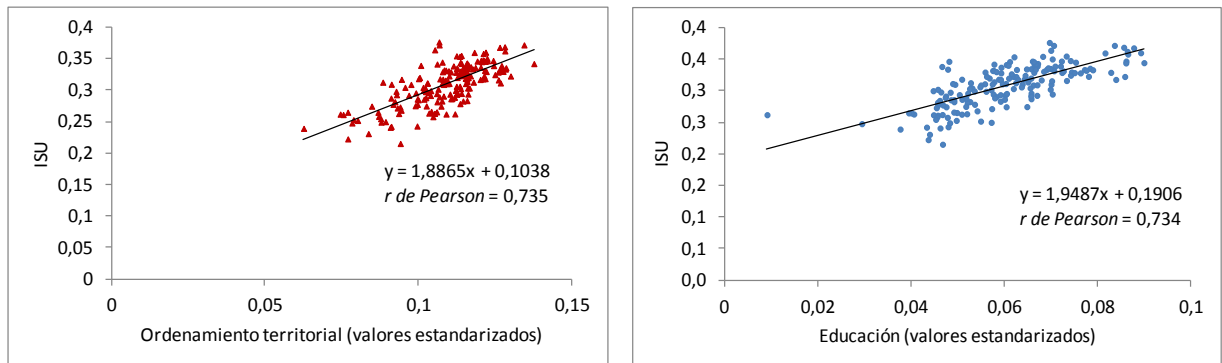
Al analizar los índices por temas que componen cada una de las dimensiones del IS (Figura 3), se observa que, respecto de la sustentabilidad urbana, aquellos relativos a ordenamiento territorial (vivienda, ocupación del suelo) y educación definen, en general, las situaciones más favorables y desfavorables en gran parte de las unidades espaciales. Ello se puede corroborar al aplicar el coeficiente de correlación lineal, o *r* de Pearson, que alcanza 0,735 para el caso de ordenamiento territorial y 0,734 para educación. El coeficiente mencionado, que mide el grado de relación lineal entre las variables, muestra en ambos casos una correlación positiva alta que se verifica en los gráficos de dispersión (Figura 4). En dichos gráficos, el eje y representa el ISU en tanto que en el eje x se observan los valores estandarizados de cada tema.

Figura 3. Índice de Sustentabilidad Urbana (ISU) e Índice de Sustentabilidad Ambiental (ISA).



Fuente: Elaboración propia a partir de Tomadoni et al. (2014) y Zulaica y Tomadoni (2015).

Figura 4. Gráficos de dispersión entre los valores del ISU y los temas ordenamiento territorial y educación.



Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores del tema ordenamiento territorial, revelan condiciones de máxima criticidad en La Herradura, Autódromo, un sector de Batán y zonas rurales sobre la ruta 226 próximas al ejido urbano y en las inmediaciones de Estación Chapadmalal. Las mejores situaciones se destacan en El Grosellar, Zacagnini, La Florida, Los Tilos, Las Margaritas, Faro Norte, Bosque Peralta Ramos, Sierra de Los Padres y en la zona de localización de barrios cerrados. Dentro de este tema, se observan fuertes correspondencias entre los valores obtenidos para la dimensión urbana y los indicadores “porcentaje de hogares con hacinamiento severo” y “porcentaje de hogares sin heladera”.

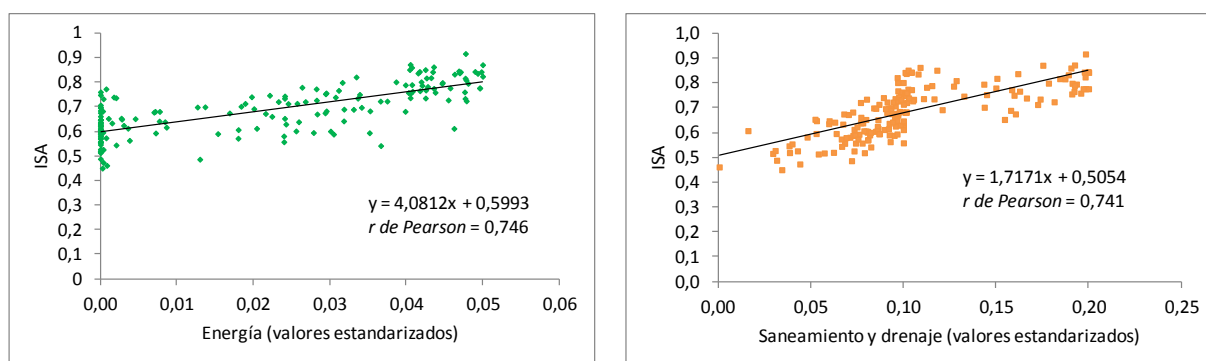
Respecto de los indicadores de educación, se observan valores bajos en las áreas más rurales del periurbano, destacándose el sector próximo a La Herradura e Hipódromo sobre la ruta 226 y un sector del barrio Parque Camet. Los mejores niveles, se registran en barrios próximos al ejido urbano tales como Zacagnini, El Grosellar, La Florida, Los Tilos, Faro Norte, Bosque Peralta Ramos. Se destaca también esta condición en Sierra de Los Padres. En este caso, es el indicador “porcentaje de población de tres años y más que utiliza computadora en viviendas particulares” el que posee mayor incidencia en la distribución en el comportamiento general de la dimensión.

Respecto de los temas que componen la sostenibilidad ambiental, aquellos relativos a energía y saneamiento y drenaje definen, en general, las situaciones más favorables y desfavorables en gran parte de las unidades espaciales. En este caso, el coeficiente de correlación lineal alcanza 0,746 para el tema energía y 0,741 para saneamiento y drenaje (Figura 5). En este caso, el eje y representa el ISA y el eje x muestra los valores estandarizados de cada tema.

De acuerdo con la Municipalidad de General Pueyrredon (2013), en materia de energía, los indicadores considerados relativos a energía eléctrica y provisión de gas no exponen limitaciones en cuanto a calidad y cobertura de servicio. Sin embargo, la demanda estacional incide negativamente en la sostenibilidad de los servicios dado que deben cubrirse con unidades de generación caras, ineficientes y que producen elevados niveles de emisiones de gases de efecto invernadero. En el periurbano estudiado sólo se considera el indicador de provisión de gas de red debido a que para el caso de energía eléctrica no se dispone de datos que permitan establecer diferenciaciones al interior de las unidades espaciales estudiadas y en general, las limitaciones exhibidas no son de relevancia.

Contrariamente, la disponibilidad de gas de red difiere significativamente al interior del periurbano y su provisión, facilita el desarrollo de las actividades domésticas, brindando confort al interior de los hogares.

Figura 5. Gráficos de dispersión entre los valores del ISA y los temas energía y saneamiento y drenaje.



Fuente: Elaboración propia.

Uno de los indicadores relativos a saneamiento y drenaje considerados en este trabajo tiene que ver con la presencia en los hogares de servicio de red cloacal, mientras que el otro, porcentaje de hogares con instalación sanitaria con descarga de agua, caracteriza las áreas típicamente rurales sobre las cuales no es posible extender los servicios sanitarios. El primero exhibe una situación notoriamente más crítica que el segundo. Además de los temas mencionados, agua y vulnerabilidad ante desastres, también tienen relevancia en la determinación de los valores de la dimensión ambiental.

Conclusiones

Los indicadores de sostenibilidad reflejan la evolución del estado del ambiente y permiten monitorear los progresos realizados en función de objetivos definidos previamente. En esta instancia, el presente trabajo no pretende aportar con la formulación de estrategias de intervención sino brindar un diagnóstico de la situación actual que permita visualizar las diferencias al interior de este espacio complejo y determinar las áreas críticas. Esto se fundamenta en que históricamente, las intervenciones realizadas para revertir problemáticas como las contenidas en los indicadores, tienen lugar principalmente en las áreas consideradas urbanas. Este estudio destaca que las situaciones más

desfavorables se dan en el periurbano y por lo tanto, las intervenciones específicas para cada uno de los temas incluidos en la Iniciativa ICES, debieran al menos contemplar la existencia de este espacio. En este sentido, es importante mencionar que el periurbano prácticamente no ha sido considerado en los diagnósticos realizados en el marco de la Iniciativa, los cuales se centran fundamentalmente en el ejido urbano de Mar del Plata, denominado así en el Código de Ordenamiento Territorial actualmente desactualizado.

El Índice de Sostenibilidad (IS) del periurbano marplatense, se construyó mediante la integración de 34 indicadores desagregados en 16 temas correspondientes a dos de las dimensiones consideradas por ICES. Los indicadores fueron ajustados en función de la información disponible y factible de procesar en la escala de análisis utilizada. Cada uno de estos aspectos o temas determina diferentes categorías del Índice y permite deducir cuánto una unidad espacial (radio censal) se acerca o aleja del concepto de sostenibilidad dentro del universo considerado.

El IS presenta limitaciones que surgen de la propia selección de indicadores y de su ponderación que adquiere cierta subjetividad. No obstante, el procedimiento metodológico permitió caracterizar la complejidad territorial del periurbano y puede considerarse válido para analizar la distribución espacial de indicadores seleccionados y visualizar rápidamente la sostenibilidad en cada unidad de referencia. Los IS más favorables (0,719-0,826) se presentan generalmente en sectores próximos al ejido urbano y en las áreas costeras. Las situaciones más críticas del IS (0,459-0,547) se identifican fundamentalmente en zonas en las que se desarrollan actividades rurales y en las que se localizan asentamientos de carácter precario. Dentro de los temas considerados, ordenamiento territorial y educación (dimensión urbana) y energía y saneamiento y drenaje (dimensión ambiental) son los que poseen mayor incidencia en la distribución del IS.

Finalmente y retomando las reflexiones de trabajos antecedentes, se resalta la necesidad de profundizar en estudios integrados que contemplen las distintas dimensiones de la sostenibilidad sugeridas en la Iniciativa del BID, a fin de evaluar el estado actual del territorio periurbano, coordinar acciones entre los diferentes ámbitos institucionales y la comunidad en general para generar estrategias de intervención acordes con los principios de la sostenibilidad ambiental, urbana y fiscal.

Bibliografía

- Acuña Araya, Luis -coordinador-. (2001). *Documento final del grupo urbanismo y uso de suelo*. San José de Costa Rica: Secretaría Técnica del Consejo Nacional de Planificación Urbana.
- Armijo, Marianela. (2011). *Planificación Estratégica e Indicadores de Desempeño en el Sector Público*. Santiago de Chile: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), CEPAL, Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-121774-2
- BID. (2012a). *Guía metodológica; Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles*. Banco Interamericano de Desarrollo, Primera Edición.
- BID (2012b). *Mar del Plata Sostenible: implementación del plan de acción de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles*. Documento de proyecto, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Buzai, Gustavo. (2003). *Mapas sociales urbanos*. Buenos Aires: Lugar Editorial. ISBN 950-892-157-9
- CSD. (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, Third Edition*. New York: Commission on Sustainable Development, United Nations. ISBN 978-92-1-104577-2

- Ferraro, Rosana; Zulaica, Laura y Echechuri, Héctor. (2013). *Perspectivas de abordaje y caracterización del periurbano de Mar del Plata, Argentina*. En Revista *Letras Verdes*, Revista del Programa de Estudios Socioambientales, FLACSO, Ecuador, N° 13, pp. 19-40. ISSN 1390-6631.
- INDEC. (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Base de datos REDATAM (R + SP Process), Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Municipio de General Pueyrredon (2013). *Plan de acción, Mar del Plata Sostenible*. Mar del Plata: Municipio de General Pueyrredon y Banco Interamericano de Desarrollo.
- Munier, N Nolberto. (2005). *Introduction to Sustainability: Road to a Better Future*. Dordrecht: Springer. ISBN 978-1-4020-3558-6
- ONU-HÁBITAT. (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe: Rumbo a una nueva transición urbana*. Río de Janeiro: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. ISBN 978-92-1-133397-8
- Schuschny, Andrés y Soto, Humberto. (2009). *Guía metodológica, diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
- Tomadoni, Micaela; Zulaica, Laura y Calderón Gabriela. (2014). *Sostenibilidad urbana en la zona de transición urbano-rural de Mar del Plata*. En Revista *i+a*, investigación + acción. N° 16, pp. 71-90. ISSN 2250-818X
- Zulaica, Laura. (2013). *Sustentabilidad social en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata: análisis de su evolución a partir de la construcción y aplicación de un Índice de Habitabilidad*. En Revista *Georaguia*, Vol. 3, N° 2, pp. 1-25. ISSN 2236-9716
- Zulaica, Laura y Tomadoni, Micaela. (2015). *Indicadores de sostenibilidad ambiental en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata, Argentina*. En Revista *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, Vol. 35, N° 2, pp. 195-216. ISSN 0211-9803

Autores

Micaela Tomadoni es becaria CIC en el Instituto del Hábitat y del Ambiente (IHAM) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Mar del Plata. E-mail: m_tomadoni@yahoo.com.ar

Laura Zulaica - CONICET en el IHAM de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Mar del Plata. E-mail: laurazulaica@conicet.gov.ar

Sustentabilidad de las Formas de Crecimiento Urbano en el Área Metropolitana de Buenos Aires.

*Ana M. Compagnoni¹, Mónica A. Giglio², María E. Pérsico³, Clara Sanguinetti⁴,
Analía V. Cespi⁵ y Ariel O. Español⁶*

Resumen

Esta ponencia expone avances de una investigación cuyo objetivo es identificar indicadores de sustentabilidad urbana que contribuyan a evaluar el desempeño de distintas formas de crecimiento urbano y orientar la conformación de futuros observatorios que permitan monitorear el desempeño ambiental de unidades territoriales de análisis (UTA) dentro del AMBA. La metodología aplicada, basada en distintos autores que analizan la evolución del crecimiento urbano fue adaptada al contexto local y a los casos de estudio. Se seleccionaron cuatro unidades de análisis con diferente forma de crecimiento en dos municipios del AMBA. Se definieron variables para desarrollar indicadores, integrando sistemas de evaluación de sustentabilidad urbana y ambiental. Se relevaron las UTAs seleccionadas y realizaron ensayos bioclimáticos y mediciones in situ. Los resultados, permiten sacar las conclusiones comparativas iniciales del desempeño bioambiental de las unidades a fin de evaluar aspectos de sustentabilidad, tanto a escala de la unidad, como en relación al contexto urbano.

Palabras clave: Sustentabilidad Urbana; Formas de Crecimiento; Observatorios

Sustainability of Urban Growth Forms in Metropolitan Area of Buenos Aires

Abstract

This paper presents advances of a research that is aimed to identify urban sustainability indicators which help to evaluate the performance of various forms of city growth and guide the establishment of observatories for monitoring environmental performance of territorial units of analysis, transferable to different AMBA sectors. The methodology applied, based in different theories that interpret changes of urbanization in the cities, was adapted to local context. Four units of analysis of

¹ Codirectora del Proyecto UBACyT 2014-2017: "Sustentabilidad de los Procesos de Crecimiento en el Hábitat Urbano del Gran Buenos Aires" Con sede en el CIHE-FADU-UBA.

² Directora del Proyecto antes citado

³ Investigadora en Formación del Proyecto antes citado

⁴ Investigadora en Formación del Proyecto antes citado

⁵ Investigadora de Apoyo del Proyecto antes citado

⁶ Estudiante de Arquitectura Integrante del Proyecto antes citado

different growth form were selected in two municipalities in the AMBA. From the integration of different evaluation systems for urban sustainability, variables were defined to develop indicators. The selected units were analyzed and were made in situ environmental measurements. The results allows to obtain initial comparative conclusions about bioambiental performance of the units, aimed to evaluate some sustainability aspects both at the unit as in relation to urban context.

Keywords: Urban Sustainability; Growth Forms; Observatories

1. Introducción

El Area Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), se caracteriza por un crecimiento tipo *patchwork*, sujeto a impulsos del mercado del suelo con una fragmentación creciente, producto del desarrollo de zonas encriptadas de usos monofuncionales, incongruentes con criterios de sustentabilidad en cuanto a cierta racionalidad en la demanda de una sociedad - sobre su soporte natural.

R. Fernández presenta en diferentes textos al ambiente urbano como “segunda naturaleza”, donde aparece el concepto de recurso urbano secundario como consecuencia de ciertas mediaciones tecnológicas, elaboraciones transformativas de servicios y recursos naturales, preexistentes al hecho urbano. (Fernández, 1998 y Fernández 2003). Tomando como insumo esta segunda naturaleza, es imprescindible crear metodologías y aplicar herramientas que permitan evaluar los impactos que las diferentes formas de crecimiento tienen sobre la sustentabilidad del sistema urbano en su conjunto, aportando instrumentos y procedimientos para una gestión sustentable de las ciudades.

Numerosos artículos publicados, analizan el crecimiento urbano desde distintos aspectos (el crecimiento poblacional, el consumo de suelo, etc.), tanto a nivel nacional, como mundial. En este caso, el foco del estudio está puesto en las formas del crecimiento urbano, ya que una ciudad puede crecer con distintas formas (barrios cerrados, asentamientos espontáneos, conjuntos habitacionales, etc.) y en cada una de ellas es posible identificar indicadores que permiten observar mediante la recopilación de datos, las condiciones de sustentabilidad de cada Unidad Territorial de Análisis (UTA), para luego compararla y poder evaluar su desempeño, contribuyendo a la instalación de futuros observatorios urbanos que permitan medir estos aspectos en el tiempo. (Giglio y Compagnoni, 2014).

En este sentido, la metodología de Solá Morales i Rubió (Solá Morales i Rubió, 1997), contribuye para la identificación de las formas de crecimiento urbano, así como el estudio desarrollado por Fernando Diez (Diez, 1996) aporta al análisis de las transformaciones intraurbanas. Asimismo, para determinar los indicadores y el procesamiento de los mismos para su posterior comparación y evaluación, se recopiló bibliografía que abarca los aspectos ambientales, metropolitanos y matrices de evaluación de gestión de proyectos. En cuanto a la selección de indicadores para la escala de la UTA, se tomó de referencia preferencial la Citizen Guide LEED-ND⁷; y para los indicadores a escala urbana el Sistema Municipal de Indicadores de Sostenibilidad⁸.

⁷ A Citizen's Guide to LEED for Neighborhood Development desarrollado por U.S. Green Building Council, Natural Resources Defense Council, and the Congress for the New Urbanism.

⁸ SISTEMA MUNICIPAL DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD de la IV Reunión del Grupo de trabajo de Indicadores de Sostenibilidad de la Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible; Madrid, España, Noviembre de 2010

2. Objetivo

El objetivo del proyecto de investigación “Sustentabilidad de los Procesos de Crecimiento en el Hábitat Urbano del Gran Buenos Aires”, que da marco a esta presentación, es: Identificar, observar, comparar y evaluar el desempeño de distintas formas de crecimiento urbano del área metropolitana de Buenos Aires, partiendo de la aplicación de indicadores de sustentabilidad, a fin de proponer lineamientos para contribuir a la conformación de observatorios locales urbanos que faciliten el monitoreo de la evolución de dichos indicadores y detectar posibles acciones correctivas.

Otro aporte significativo del estudio, es la elaboración de una metodología, que partiendo del análisis de los cuatro casos seleccionados estratégicamente en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), pueda ser replicada en otros sitios e incluso permitir el monitoreo de los indicadores en el tiempo, ya que el proceso de urbanización implica no solo la expansión de nuevas áreas, sino también la aptitud para absorber transformaciones internas.

3. Metodología

Si bien el nivel de anclaje de la investigación está puesto en las UTAs, un componente decisivo para evaluar la sostenibilidad está relacionado con su ubicación. Dentro del contexto regional, se optó por seleccionar los casos ubicados en los Municipios de San Martín y Esteban Echeverría por sus características de localización contrapuestas dentro del AMBA y la posibilidad de acceso a la información en los mismos. Para definir las UTAs, se utilizó la metodología de Solá Morales i Rubió, que parte de analizar la forma en que se combinan tres variables: Urbanización, Parcelación y Edificación, para identificar seis tipos diferentes de crecimiento. (Solá Morales i Rubió, 1997). Con este criterio, se seleccionaron cuatro de las formas identificadas por Solá Morales: Ensanche, Suburbano, Ciudad Jardín y Polígono, por ser las que se relacionan con el crecimiento formal del área metropolitana de Buenos Aires. (Fig. 1).

Figura 1: Ubicación de las UTAs seleccionadas para el estudio



Fuente: Elaboración Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

Una vez identificadas y seleccionadas las UTAs, se procedió a definir las variables a analizar, tanto en los aspectos ambientales, como en los urbanos (medio natural y hábitat construido) que permitieran

la construcción de indicadores de sustentabilidad, aplicables a las formas de crecimiento urbano. Dentro del nivel de anclaje de la investigación, se establecieron temas y subtemas de interés (Distribución del verde, Función ambiental del verde, Confort en espacios exteriores, Localización, Sistema Parcelario, Usos del Suelo, Infraestructura, Servicios Básicos, Tipologías Edilicias, Espacio Público) que permitieron definir las variables a considerar para el desarrollo del set de indicadores. A nivel de contexto se tomaron en cuenta indicadores de accesibilidad, definidos por las variables de localización, medios de transporte, equipamiento urbano y para medir el indicador del potencial territorial, se tomaron las variables que asigna la Ley de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo de la Provincia de Buenos Aires (Ley N° 8912, 1977) para la normativa urbanística local, considerando infraestructura, densidad, relación entre superficie libre y edificada por parcela, etc. La situación actual detectada en los relevamientos realizados, comparada con los estándares de ordenamiento territorial, permite definir el nivel de aprovechamiento de ese potencial territorial, concepto que se está desarrollando para las conclusiones finales de la investigación.

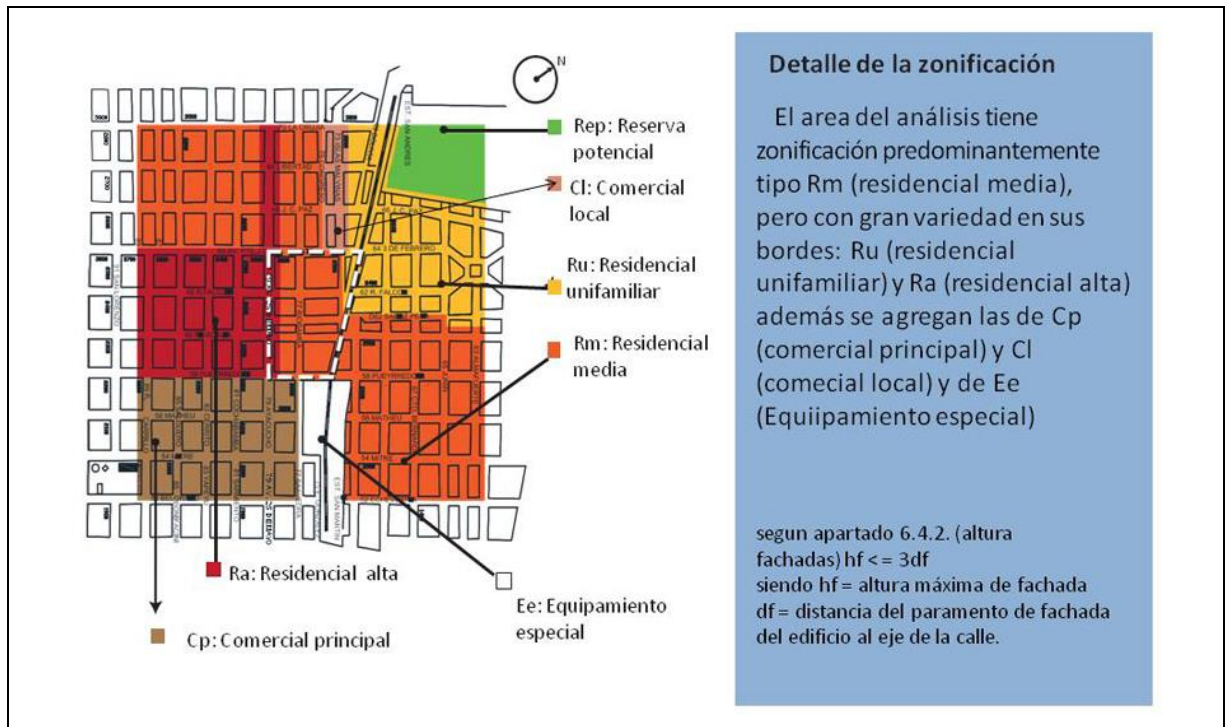
En el marco del proyecto en curso, el presente trabajo expone algunos avances realizados en los aspectos ambientales en cuanto a la evaluación del desempeño bioclimático de las UTAs, sirviendo de antecedente metodológico para esta etapa inicial, el trabajo de investigación presentado al Premio Estímulo IEU 2012 a la Investigación Urbana, (Compagnoni, 2013). Para el desarrollo de esta etapa, el trabajo se inició con el Análisis de Contexto que incluyó tanto la Caracterización bioambiental del entorno como el Estudio Normativo del Área de inserción de la UTA. (Figs. 2 y 3)

Figura 2: Recomendaciones de Diseño según condiciones climáticas de Gral. San Martin

| VARIABLE | MESES | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Temperaturas confortables de día | | | | | | | | | | | | |
| Meses Frios durante el día | | | | | | | | | | | | |
| Meses Calurosos durante el día | | | | | | | | | | | | |
| Meses con exceso de Humedad | | | | | | | | | | | | |
| Meses secos | | | | | | | | | | | | |
| Amplitud termica superior a 14°C | | | | | | | | | | | | |
| Cielo Claro | | | | | | | | | | | | |
| Cielo nublado | | | | | | | | | | | | |
| Vientos leves | | | | | | | | | | | | |
| Vientos de alta velocidad | | | | | | | | | | | | |
| Situación de Confort o Dsiconfort | D | D | C | C | D | D | D | D | D | C | C | D |
| Recomendaciones de Diseño según variables climáticas predominantes | | | | | | | | | | | | |
| Proteccion Solar | | | | | | | | | | | | |
| Proteccion de Viento | | | | | | | | | | | | |
| Asoleamiento- Ganacia Solar | | | | | | | | | | | | |
| Ventilación Selectiva | | | | | | | | | | | | |
| Ventilación cruzada | | | | | | | | | | | | |
| Humidificación | | | | | | | | | | | | |
| Refrescamiento Evaporativo | | | | | | | | | | | | |
| Necesidad de riego artificial | | | | | | | | | | | | |
| Necesidad de Proteccion de Lluvia | | | | | | | | | | | | |

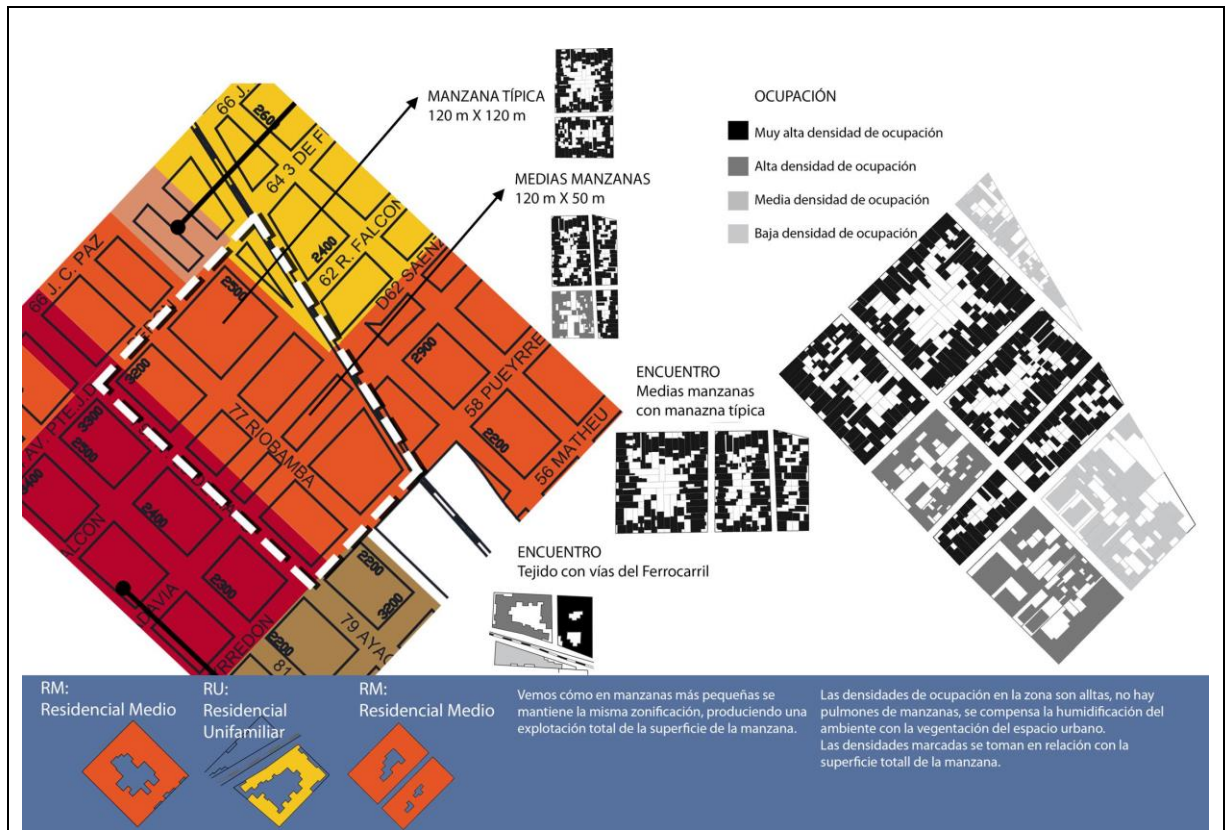
Fuente Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

Figura 3: Relevamiento de normativa y la zonificación de usos correspondiente a la UTA ENSANCHE



Fuente Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

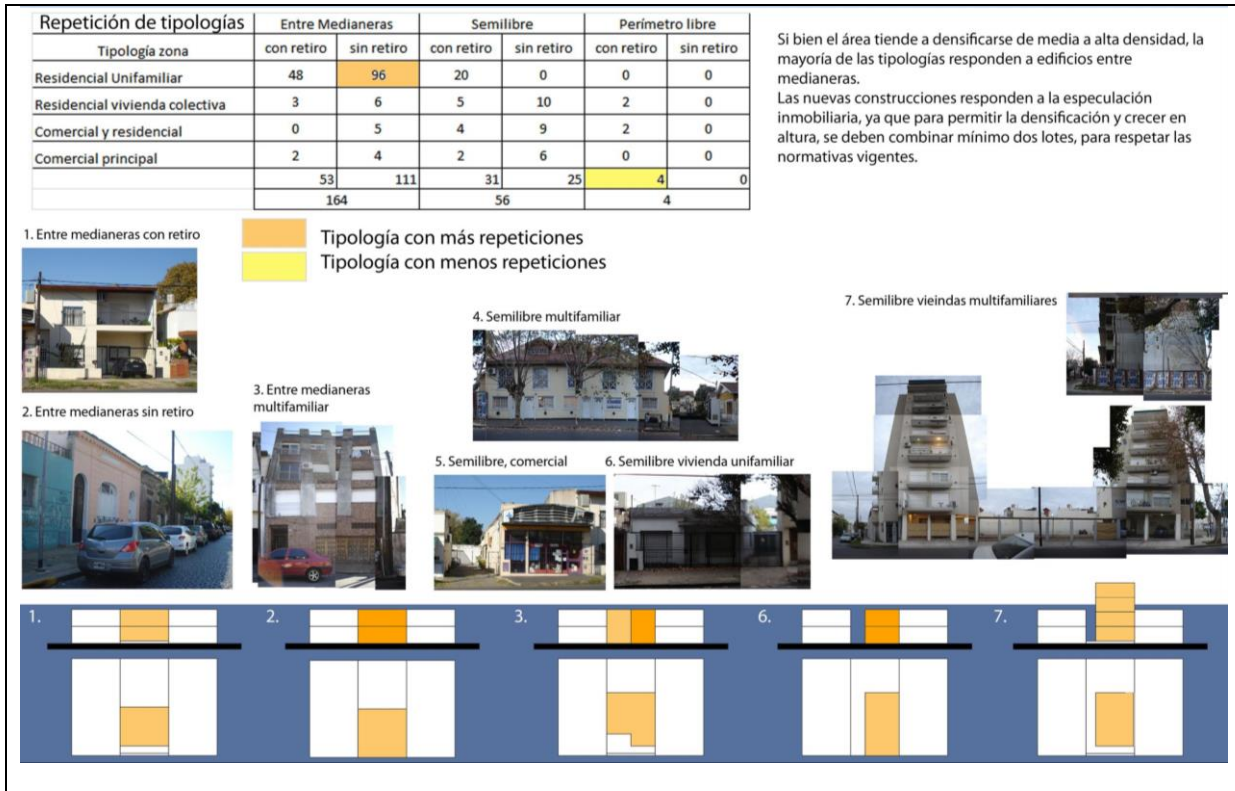
Figura 4: Relevamiento de la Ocupación del Suelo en la UTA ENSANCHE



Fuente Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

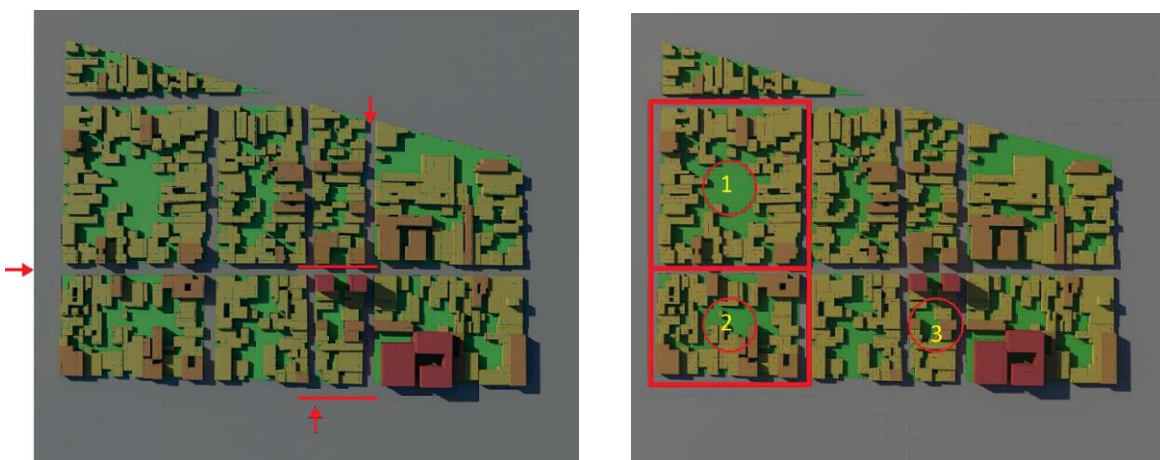
Una segunda instancia comprendió el Relevamiento in situ identificando: las formas de ocupación del suelo, alturas dominantes dentro del tejido y en los bordes del recorte urbano; las tipologías de manzanas y edilicias (Fig. 4 y 5). Luego, se realizó el modelado 3D de las UTAs con el Programa Sketch Up (Fig. 6) y se realizaron simulaciones con el heliodón virtual del mismo, y la evaluación de la incidencia del viento con método gráfico y túnel de viento del CIHE-FADU-UBA, (Figs. 7 a 9).

Figura 5: Relevamiento de Perfil Edificado y tipologías de uso del lote en la UTA ENSANCHE



Fuente Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

Figura 6: Modelado de UTA Ensanche y determinación de sectores a estudiar, mostrando las diferentes densidades y altura de ocupación del suelo



Fuente Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

Los estudios de asoleamiento y ventilación sobre las unidades territoriales fueron sistematizados en base a grillas diseñadas especialmente para la observación y evaluación de las condiciones de confort que las diferentes formas de crecimiento generan en el tejido urbano, dadas las características de densidad, distribución en los lotes, altura de las edificaciones etc. Se tuvieron en cuenta 3 aspectos a analizar respecto de la incidencia solar en: las fachadas sobre las distintas calles a analizar; los pulmones de manzana entre edificios y en el espacio público interior a la UTA, así como sobre los bordes diferenciados de la misma.

Para la evaluación de estos aspectos se tuvieron en cuenta las condiciones típicas de invierno y verano en la zona de estudio, considerando que en el solsticio invernal, 22 de junio, debe haber un eficaz asoleamiento y en el solsticio de verano, 21 de diciembre, época de mayor incidencia solar, es necesaria una protección solar eficiente. Para evaluar la necesidad de asoleamiento o protección solar se consideraron simultáneamente las condiciones de temperatura, HR, y viento en horarios preestablecidos (9, 12 y 15hs), según datos de las estaciones meteorológicas próximas a cada UTA y las recomendaciones bioclimáticas de diseño emergentes del análisis de estas variables.

Asimismo, como complemento de esta etapa, se encuentran en ejecución mediciones in situ en días típicos de invierno, verano y equinoccio para analizar condiciones micro-climáticas en puntos característicos de cada UTA, para lo cual se elaboró un protocolo de mediciones simultáneas entre dos UTAs del mismo municipio, midiendo variables de temperatura, Humedad Relativa y Viento en espacios exteriores, durante el lapso de 1h 30min al mediodía y con mediciones cada 5 minutos.

4. Síntesis de resultados

A modo de ejemplo se muestra a continuación algunos estudios de asoleamiento realizados que permiten analizar el efecto de la morfología urbana según estas variables de interés sobre algunos sectores del ensanche que se consideraron relevantes para este estudio.

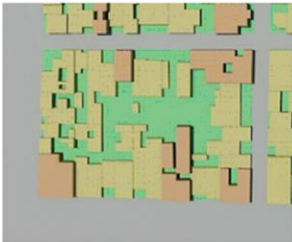
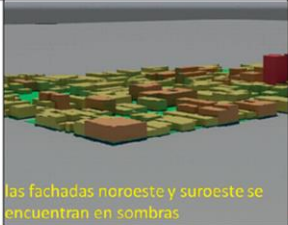








Teniendo en cuenta que la UTA Ensanche presentaba mucha diversidad en las proporciones y formas de las manzanas, esto permitió estudiar tanto los casos más representativos del conjunto de la trama como así también los casos atípicos en cuanto a tipologías de manzanas y de espacios públicos para comparar los efectos de la ocupación del suelo con media densidad tanto en el espacio público como en el pulmón de los mismos en las épocas críticas del año.

Las características del ensanche por cercanía al casco histórico, adopta la tipología de crecimiento de la ciudad consolidada, con un tejido completo y en densificación, de forma heterogénea con: usos mixtos, comercial y residencial y presencia de equipamiento urbano. Sus bordes concretos y consolidados sobre el espacio público del boulevard, con un interior del recorte más permeable, por la presencia de edificios separados y retirados de la línea municipal. Los pulmones de manzana son relativamente densos y con escasa vegetación pero con presencia de árboles en el espacio público urbano, en bulevares y calles internas. Estas características se evidencian en el modelado 3D utilizado para los ensayos que en esta etapa contemplan el estado actual de las UTAS, poniendo de manifiesto las diferentes densidades de ocupación, sin considerar el aporte de la masa verde ni su potencial crecimiento por densificación que serán objeto de próximas etapas de estudio.

Las grillas utilizadas contemplan los aspectos estudiados dentro de las UTAs. Se presenta el caso del ENSANCHE que se analizó en general y se profundizó en particular sobre diversas situaciones de la UTA que se consideraron pertinentes y representativas del ensanche (Fig. 7)

Los ensayos con el Túnel de Viento sobre el Ensanche en general permitieron observar las diferencias de comportamiento entre los tipos de manzanas debido a su diferencia de rugosidad por la ocupación del suelo así como las situaciones particulares que generan los nuevos edificios en altura que empiezan a densificar la zona, actualmente en proceso de consolidación con una predominancia de densidad baja pero con alto nivel de compacidad en el interior del tejido.

Figura 7 : Estudio de Asoleamiento en diferentes aspectos de la escena urbana en Manzana 2

| Ensayos | Hs | Fachada | Pulmón | Espacio Público |
|--|----|--|--|---|
| Estudio sobre una de las manzanas del recorte, que por sus dimensiones orientación en la trama representa la manzana típica de otras áreas de ensanche.  | 9 |  las fachadas noroeste y suroeste se encuentran en sombras |  solo los patios más chicos están con sombra, el centro de manzana en sol |  calles con sombras proyectadas al 20% aprox. de sup. |
| | 12 |  las fachadas sureste y suroeste se encuentran en sombras |  toda la superficie en sol, incluso patios más chicos |  calles 100% en bajo sol |
| | 15 |  las fachadas noreste y sureste se encuentran en sombras |  solo los patios más chicos están con sombra, el centro de manzana casi en sol |  calles con sombras proyectadas al 50% aprox. de sup. pero en tramos con sol al 100% |

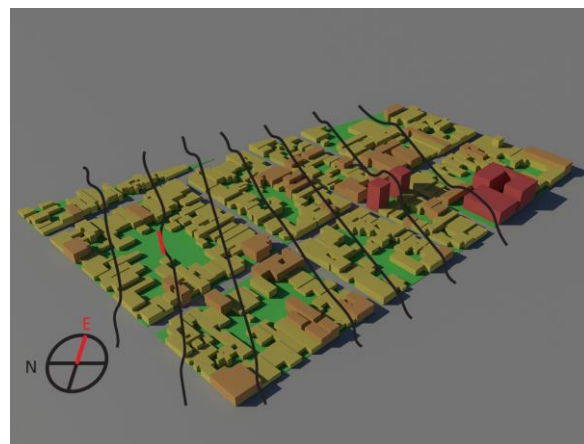
VERANO

Fuente Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

Figura 8: Análisis de Viento en UTA Ensanche



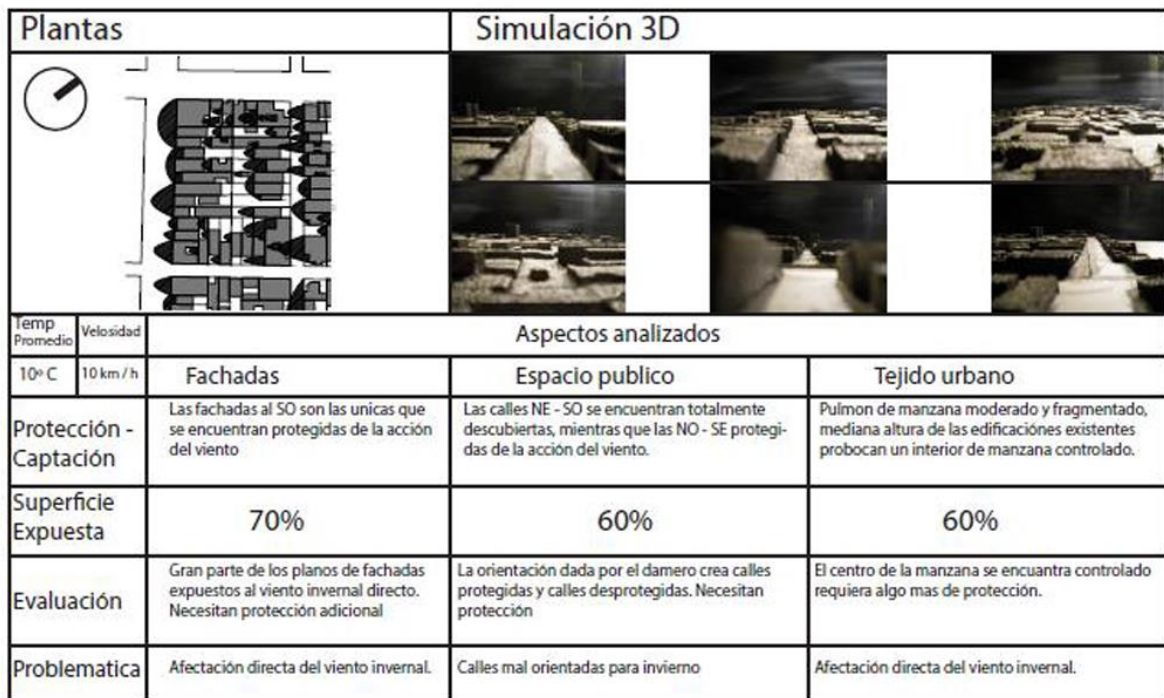
Viento NE más frecuente en Invierno



Viento E más frecuente en Verano

Fuente Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

Figura 9: Análisis de incidencia del Viento NE del invierno en UTA Ensanche - Manzana 2



Fuente Propia desarrollada en el marco del proyecto de investigación

5. Conclusiones

Los ensayos realizados en esta etapa permitieron una primera aproximación a las condiciones de confort-disconfort que las formas de crecimiento promueven y a los efectos micro-climáticos que estas producen, siendo de fundamental importancia para la consideración y revisión de posibles nuevos trazados y loteos periurbanos, orientados a nuevos desarrollos residenciales de escala barrial.

Poder evaluar, a partir de una experiencia piloto, las formas de crecimiento que se encuentran materializadas en el territorio metropolitano, permite predecir comportamientos y desempeños de sustentabilidad sobre nuevos crecimientos urbanos ya sea desde la expansión de baja densidad como desde la densificación de áreas en proceso de consolidación, contribuyendo además a plantear parámetros de crecimiento admisible para asegurar condiciones de habitabilidad y confort ya sea en el espacio público como en los espacios de uso privado.

La escala de la UTA, asimilable a la escala barrial y con conformación morfológica específica, si bien no permite evaluar la sustentabilidad urbana en su conjunto, constituye una matriz de anclaje representativa de una tipología que puede ser evaluada tanto desde un nivel supra (urbano) como desde un nivel sub (edificio). Asimismo el proyecto, aún en proceso, prevé la integración de indicadores urbanos, ambientales y sociales, en gráficos sintéticos que contribuyan al conocimiento de cada UTA y su comparación tanto entre las diferentes formas de crecimiento como entre diferentes casos dentro de una misma tipología, contribuyendo así al diagnóstico; la planificación y la gestión sustentable de entornos metropolitanos.

Los estudios realizados en particular sobre el caso de la UTA Ensanche arrojan resultados muy variados dadas las condiciones particulares del mismo, poniendo en evidencia que esta tipología de crecimiento, por sus condiciones de permanente cambio, favorecidas por la normativa que la regula, dificulta la previsión del desempeño final del recorte urbano, sujeto a modificaciones normativas que

no contemplan los efectos ambientales de los cambios de densidad urbana. Asimismo, la comparación con la UTA Polígono ubicada en el mismo municipio, permite argumentar que las formas de crecimiento cuya densidad es saturada desde el proyecto y que por su condición de dominio no permiten el crecimiento pos ocupación, facilita la previsión del desempeño ambiental de la misma en todos los aspectos contemplados de la escena urbana, aunque las tipologías morfológicas utilizadas no siempre aprovechan al máximo el potencial de asoleamiento y ventilación que el lote permite.

El estudio futuro de las condiciones de máxima densificación, avalada por la normativa vigente, para los casos del Ensanche y del Suburbano, permitirán estudiar los efectos diacrónicos de ese crecimiento futuro, pudiendo establecer comparaciones con el estado actual de cada UTA así como compararlas entre sí.

Se destaca además, que se encuentra en desarrollo la definición y síntesis del set de indicadores que aplica a cada escala de análisis de las UTAs, a los fines de que la experiencia pueda ser replicable, para evaluar y predecir el desempeño de diferentes formas de crecimiento en diversidad de contextos urbanos y geográficos tanto del resto del país como de otras regiones de Latinoamérica. Los resultados de dichos avances, serán objeto de próximas presentaciones.

Con el producto de la investigación obtenido hasta esta etapa, se formuló una propuesta didáctica para la capacitación de alumnos de Arquitectura a través de una nueva asignatura optativa en Gestión Urbana Contemporánea, orientada al Crecimiento Urbano Sustentable, que se dictara a partir del próximo ciclo lectivo en la FADU- UBA.

Referencias Bibliográficas

- Compagnoni, A. M. (2013) *Efectos de la Densificación del Tejido Urbano en la Calidad Ambiental del Espacio Público*. Revista CAPBA de la Provincia de Buenos Aires 2013 Pag 122-127 y en <http://capbaiv.org/revista-ideas/revista-ideas-n03/index.html#/8-9/> (Febrero de 2013)
- Diez, F. (1996), *Buenos Aires y algunas constantes en las transformaciones urbanas*. Editorial de Belgrano, Buenos Aires, Argentina.
- Fernández, R. (2001), *La Ciudad Verde: Teoría de la Gestión Ambiental Urbana*, Espacio Editorial, Argentina.
- Giglio, M. A. y Compagnoni, A. M. (2014), *Sustentabilidad En Areas Metropolitanas. Estudio De Las Formas De Crecimiento Urbano En El AMBA*. Presentado en las XXVIII Jornadas de Investigación y XIX Encuentro Regional SI + TER, Actualmente en prensa.
- Giglio, M. A. y Compagnoni, A. M. (2014), *Red Para La Observación De La Sostenibilidad Del Crecimiento Urbano*. Publicado en Actas de las XXVII Jornadas de Investigación y VIII Encuentro Regional SI + RED, Editorial Aulas y Andamios, Buenos Aires. ISBN 978-987-1597-36-9
- Decreto-Ley 8912/77 *Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo* de la Provincia de Buenos Aires disponible en <http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-8912.html>
- Solá Morales i Rubió, M., (1997), *Las formas de crecimiento urbano*. Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya. SL. Barcelona, Catalunya España.

Reconocimientos

Se destaca la participación de los pasantes alumnos Ivan García Fernández; Laura Corvalán; Emilia De La Torre; Ezequiel Basso; Gabriel Battistella; Sebastián Cano y Lautaro Gómez que colaboraron con trabajos de relevamiento, simulaciones y mediciones in situ en el marco del proyecto UBACyT.

Autores

Ana M. Compagnoni es Arquitecta FADU- UBA; Docente Autorizada UBA; Adjunta de Introducción al Diseño Bioambiental e Introducción a la Arquitectura Solar de la FADU-UBA y Titular Regular de Ambiente y Arquitectura en FA- UAI. Investigadora del CIHE-FADU-UBA Categoría III y desarrollando su Tesis de Doctorado en FADU-UBA. anacompa03@yahoo.com.ar

Mónica A. Giglio es Arquitecta FAU-UNLP. Especialista de Planificación Urbana y Regional. Con Máster en Política Territorial y Urbanística de la Universidad Carlos III, Madrid. Doctora Arquitecta ETSAM, de la UPM. Docente Autorizado UBA. Titular Regular de Planificación Urbana en FADU-UBA y Consejera del Plan Urbano Ambiental del GCABA. documentosgiglio@yahoo.com.ar

Maria E. Pérsico es Arquitecta FADU-UBA Ayudante en la asignatura Introducción al Diseño Bioambiental de la FADU-UBA con Especialización en Planeamiento Urbano y Regional de la FADU-UBA y desarrollando su Tesis de Maestría en Economía Urbana de la UTD. Se desempeña profesionalmente en la DGPLUR del GCABA. mepersico@yahoo.com.ar

Clara Sanguinetti es Licenciada en Planificación y Diseño del Paisaje FADU-UBA; cursa la Maestría en Gestión Ambiental de la UCA y se desempeña profesionalmente en la Agencia de Protección Ambiental del GCABA y en el CIHE-FADU coordinando actividades de pasantes de Paisaje. sanguinetti.clara@gmail.com

Analía V. Cespi es Arquitecta FADU-UBA, Ayudante Ad-Honorem de Introducción al Diseño Bioambiental e Introducción a la Arquitectura Solar, se desempeña en el CIHE-FADU coordinando pasantes de Arquitectura en el marco del UBACyT. ana.cespi@gmail.com

Ariel O. Español es Estudiante de Arquitectura FADU-UBA; Ayudante Ad Honorem de las asignaturas Introducción al Diseño Bioambiental e Introducción a la Arquitectura Solar, se desempeña en el CIHE-FADU coordinando pasantes de Arquitectura en el marco del UBACyT. espanolariel@hotmail.com

El Proyecto de Paisaje como Sustentabilidad Urbana: Caso la Cuenca del Gato

Arq. María Elisa Cremaschi¹, Arq. Nadia Freaza², Arq. Karina Jensen³, Arq. Javier Reboredo

Resumen

Este trabajo tiene por finalidad presentar la síntesis y conclusiones del Taller de Proyectos de la V cohorte de la Maestría "Paisaje, Medio Ambiente y Ciudad". A través de este trabajo se reinterpretó la relación "Agua-Ciudad" con un Proyecto de Paisaje integral para abordar desde una visión holística, la Región del Gran La Plata y la problemática de las inundaciones. Interpretar el territorio en su complejidad, se constituyó entonces como premisa fundamental para poder desarrollar una propuesta paisajística capaz de generar una nueva imagen urbana que recree el equilibrio entre el ambiente natural y el ambiente antropizado. Teniendo en cuenta que la Cuenca del Arroyo del Gato es altamente representativa en términos de conflictos ambientales, sistema hídrico y población involucrada, este trabajo establece lineamientos estratégicos que buscan ser replicables en otras cuencas y sistemas de arroyos de la Región; para colaborar así con la sustentabilidad regional.

Palabras clave: paisaje, inundación, cuenca, ciudad, proyecto.

The Landscape Project as Urban Sustainability: The case of Gato's Watershed

Abstract

The aim of this paper is to present the results and conclusions of Project Workshop of the V cohort of the Master "Landscape, Environment and City", which attempts to approach a holistic vision of Region Gran La Plata and the problem of flooding. Through this work, the "Water-City" relationship was reinterpreted through an inclusive and participative Landscape's project in The Gato's watershed. The key to develop a landscape project capable of develop a new urban image, in order to recreate the balance between natural support and infrastructure, is to understand the territory as a system. Given that The Gato's watershed is highly representative in terms of environmental conflicts, water system and population involved, this work sets strategic guidelines that seek to be

¹ Laboratorio de Tecnología y Gestión Habitacional (LATEC). Calle 47 N 162 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Teléfono: +54 221 423 6587 al 90 interno 251. latec@fau.unlp.edu.ar

² Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Calle 47 N 162 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Teléfono: +54 221 423 6587 al 90 interno 250 (31/32). iipac@fau.unlp.edu.ar

replicated in other watersheds and stream systems in the Region; in order to collaborate with the regional sustainability.

Keywords: landscape, flood, watershed, city, project.

Introducción

Este trabajo tiene por finalidad presentar la síntesis del proceso y conclusiones del Taller de Proyectos "Paisaje / Cuencas Hidrográficas / Proyecto" de la V cohorte de la Maestría "Paisaje, Medio Ambiente y Ciudad", que busca abordar desde una visión holística la Región del Gran La Plata y las problemáticas ambientales a través de una propuesta urbana para la cuenca media del Arroyo del Gato que concebida bajo el concepto de sustentabilidad (Figura 1).

Figura 1. Ubicación de la Cuenca del Gato en la RGLP.



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth. 2015.

El desarrollo sustentable “requiere la satisfacción de las necesidades básicas de todos y extiende a todos la oportunidad de satisfacer sus aspiraciones a una vida mejor, pero los niveles de vida que trascienden el mínimo básico son sostenibles si los niveles de consumo tienen en cuenta en todas partes la sostenibilidad a largo plazo (...) como exigencia mínima, el desarrollo duradero no debe poner en peligro los sistemas naturales que sostienen la vida en la Tierra: la atmósfera, las aguas, los suelos, los seres vivientes...” (CMMAD, 1987). En otras palabras: satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras.

Es por ello, que intervenir en el territorio desde una mirada sustentable implica ser consciente de las transformaciones que en él se han dado y la importancia de pensar en las generaciones futuras. Implica también, reconocer la estrecha relación entre cultura y naturaleza, donde lo más importante es construir nuevos vínculos entre el hombre y el medio que lo rodea, en pos de establecer una relación armónica con el ambiente.

Es así como, la propuesta se basa en la búsqueda del equilibrio entre el soporte natural y el medio antropizado, por medio de una visión integral que incorpora aspectos ambientales, sociales y productivos, teniendo en cuenta que se opera en una escala territorial y no con la escala arquitectónica. Interpretar el territorio en su complejidad, se constituye entonces, como premisa fundamental para poder desarrollar una propuesta de sustentabilidad urbana que sea capaz de generar una nueva imagen de la ciudad.

¿Es posible pensar en un desarrollo urbano sustentable? Esta complejidad requiere para su desarrollo de tres ejes primordiales: paisaje, ambiente y ciudad para poder así, aportar a mejorar la calidad del hábitat⁴ del hombre y contribuir a la sustentabilidad urbana, afrontando una realidad donde los problemas crecen con más velocidad que las soluciones. Esto implica considerar la relación con la naturaleza en una estrategia que aumente los vínculos ciudad-entorno natural, mejorando las relaciones en el paisaje y su posicionamiento sensible hacia él. Es decir, aprovechando los recursos, condiciones y procesos naturales de cada sitio. Esto se realiza asignando las demandas de espacio, bienes y servicios a los lugares donde sean compatibles con la oferta natural, reduciendo al mínimo el uso de energías no renovables y recursos externos.

El objetivo general del trabajo es desarrollar una propuesta paisajística integral para la Cuenca hídrica del Arroyo del Gato, que incorpore lineamientos de acción para la revalorización paisajística, remediación del ambiente y la articulación con la trama urbana existente, en pos de aportar al desarrollo sustentable de la Región del Gran La Plata.

Para lograr este objetivo principal se desarrollaron una serie de objetivos específicos tales como:

- Fortalecer las potencialidades paisajísticas para generar una nueva imagen del área de la cuenca, en pos de colaborar a establecer una nueva relación agua - ciudad.
- Mejorar las condiciones del ambiente y de la infraestructura de la cuenca, con el fin de mejorar la calidad del hábitat de la población de la Cuenca hídrica del Arroyo del Gato.
- Promover la articulación inter-jurisdiccional para articular las políticas existentes y futuras para el sector, con el fin de garantizar el desarrollo sustentable de la Región del Gran La Plata.
- Estimular la incorporación de mecanismos que incentiven la participación ciudadana para contribuir a la concientización ambiental de la población en general.

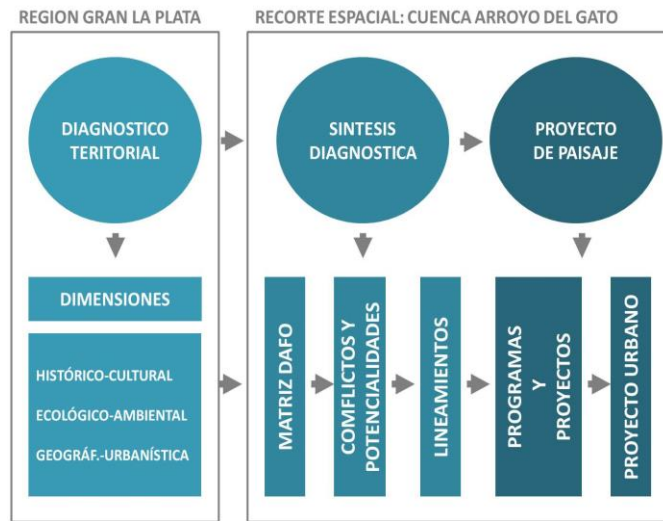
Metodología

La metodología implementada se compone de dos momentos, un primer momento de diagnóstico, que permitió conocer la Región y las problemáticas más relevantes en ella, en pos de ajustar el recorte del área y el tema de intervención.

Un segundo momento de desarrollo de propuesta de intervención en el área de estudio, que se compone de tres etapas. Una etapa de síntesis diagnóstica, la cual posibilitó el reconocimiento de conflictos y potencialidades, una segunda etapa de elaboración de lineamientos estratégicos y la tercer y última etapa de propuesta de intervención en dos escalas articuladas, la escala territorial y la escala urbana (Figura 2).

⁴ Hábitat como soporte espacial, donde se produce la integración entre las disciplinas concurrentes de las actividades de la Sociedad y la Naturaleza. San Juan et al (2015).

Figura 2. Esquema de la metodología implementada.



Fuente: Elaboración propia. 2015.

1ºMomento: Diagnóstico de la región del Gran La Plata

El diagnóstico se estructuró en etapas de relevamiento, análisis y diagnóstico, tomando como objeto de estudio las subcuencas hídricas que componen la RGLP (Figura 3). Para la instrumentación de la metodología de análisis, se desarrollaron diversas actividades: reconocimiento del área de estudio y visita de campo, recopilación de información, identificación y clasificación de fuentes, procesamiento de datos en GIS, sistematización de datos cuali-cuantitativos y la elaboración de una síntesis conclusiva. El sistema hídrico constituye una unidad geográfica de trabajo bien definida a los fines del proyecto, por esto el área de análisis se determina a partir del cruce de variables.

Área de referencia = espacio natural + procesos histórico-sociales

Figura 3. Caracterización de la Cuenca.



Fuente: Elaboración propia. 2015.

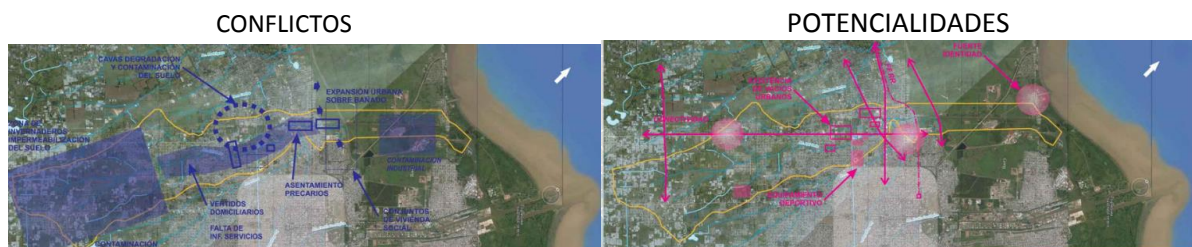
Partiendo de una visión sistémica y compleja, se reconoce la interrelación entre las dimensiones que componen el objeto, resultando difícil establecer el límite entre ellas. Sin embargo, para facilitar el abordaje del objeto de estudio, se analizó el área integralmente como sistema desde tres

dimensiones: Histórico-Cultural, Ecológico-Ambiental y Geográfico-Urbanística. Cabe mencionar que la instancia de diagnóstico fue elaborada durante el transcurso del taller de proyectos de la Maestría PMC, con un equipo interdisciplinario compuesto por todos los alumnos de la cohorte 2013-2014.

2° Momento: propuesta de intervención en la cuenca del arroyo del Gato

- Síntesis Diagnóstica: para abordar el análisis del área de estudio, se trabajó en el marco teórico, los conceptos de construcción social del riesgo, que se corre del problema del fenómeno natural y se focaliza en la vulnerabilidad socio-territorial, y paisaje, como interrelación entre cultura y naturaleza. Estos conceptos orientaron la elaboración de la síntesis del diagnóstico, para la que se utilizaron herramientas como la matriz D.A.F.O y la construcción de un árbol de problemas y objetivos. Lo que posibilitó reconocer los conflictos y potencialidades de la cuenca y realizar el recorte del área de intervención a la cuenca media, por la variedad y complejidad de actividades y fenómenos presentes simultáneamente en el sector (Figura 4). Estos insumos posibilitaron la definición de objetivos de intervención y lineamientos de proyecto.

Figura 4. Síntesis del diagnóstico.



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth. 2015.

-Lineamientos: se establecieron seis líneas de acción para intervenir en el área que permitieron encausar acciones de intervención directa mediante el proyecto de paisaje, así como acciones estratégicas que apunten a orientar políticas públicas a fin de expandir la intervención a toda el área de la cuenca del Arroyo Del Gato, como también a todas las cuencas de RGLP.

El primer lineamiento "CUENCA PARTICIPATIVA", apunta involucrar a la comunidad en la gestión del territorio, así como integrar las distintas jurisdicciones políticas que dividen el área de la cuenca, como base para mejorar el desarrollo de la región (Figura 5).

Figura 5. Cuenca participativa



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth. 2015.

El segundo lineamiento, "CUENCA PLANIFICADA" pretende recomponer los efectos de una ocupación del territorio sin planificación, que permita reordenar la estructuración y funcionalidad del territorio (Figura 6).

Figura 6. Cuenca planificada



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth. 2015.

El tercer lineamiento "CUENCA INTEGRADA", se articula con el anterior, ya que apunta a recomponer la relación fragmentada entre el tejido de la periferia y el tejido fundacional (Figura 7).

Figura 7. Cuenca integrada



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth. 2015.

El cuarto lineamiento "CUENCA AMBIENTALMENTE SALUDABLE", apunta a la remediación, el saneamiento, recuperación y rehabilitación de la cuenca del arroyo, en pos de mejorar la calidad ambiental y la calidad de vida de la población (Figura 8).

Figura 8. Cuenca ambientalmente saludable



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth. 2015.

El quinto lineamiento "CUENCA PREPARADA", apunta a incorporar los factores de riesgo en la planificación y reducir la vulnerabilidad del sector frente a eventos meteorológicos recurrentes característicos del ambiente de la cuenca (Figura 9).

Figura 9. Cuenca Preparada.



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth. 2015.

El sexto y último lineamiento "CUENCA AMBIENTALMENTE CONCIENTE", apunta a establecer mecanismos de educación ambiental, para impulsar en la población una relación responsable y amigable con el ambiente en el que se desarrolla (Figura 10).

Figura 10. Cuenca ambientalmente consciente



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth. 2015.

A partir de estas improntas se desarrolla el proceso proyectual, que deberá incluir necesariamente estrategias de diseño que las contemplen.

-Proyecto: para el desarrollo del proyecto de paisaje se estableció una metodología que apunta al abordaje integral a partir de dos escalas de trabajo simultáneas, la escala territorial y la escala urbana. Para esto combina la metodología de elaboración de un plan estratégico territorial, que pretende extender el alcance del proyecto trascendiendo el área de intervención. Ya que se parte de la concepción de sistema complejo, integrado por las variables ecológicas, ambientales, urbanas, sociales, económicas, culturales, etc., se requiere de intervenciones globales que alcancen la complejidad analizada. Y por otro lado, se incorpora la metodología del proyecto urbano, que apunta al desarrollo de propuestas de intervención física, que transformen la estructura de soporte del área, como base material para la implementación de los programas y proyectos estratégicos.

En base a la idea rectora, de respeto a la cultura y el trazado originario del casco fundacional de La Plata, se pretende poner en valor el sustrato natural sobre el que se desplegó la ciudad, en pos de armonizar la relación cultura-naturaleza, integrando la periferia con el casco y el ordenando el crecimiento urbano en busca que el proyecto paisajístico combine la traza originaria de la ciudad con el medio físico-social en el cual se inserta.

Las premisas proyectuales se abocan a brindar solución a los conflictos que el diagnóstico detectó, incorporando las estrategias definidas por los lineamientos, a fin lograr una intervención paisajística que mejore la calidad ambiental de la cuenca y actúe como foco de atracción en la Región. Un nuevo sector urbano capaz de dar sentido de pertenencia a sus visitantes, un parque para la reflexión, el ocio y el ejercicio recreativo. Se propone un parque lineal que trate los problemas ambientales -a partir de la incorporación de tecnologías como la fitorremediación, lagunas de laminación y disipadores de energía- de la cuenca en relación con la ciudad, y que al mismo tiempo genere contacto entre el ciudadano y el medio natural.

Las metodologías utilizadas para el diagnóstico (que busca interpretar el territorio en toda su complejidad) y la utilizada para la etapa de desarrollo proyectual (que apunta a elaborar una propuesta paisajística que sea capaz de generar una nueva imagen urbana para la cuenca) contribuyeron a recrear el equilibrio entre soporte natural e infraestructura urbana, coadyuvando a la reducción de los riesgos socio-ambientales previamente detectados.

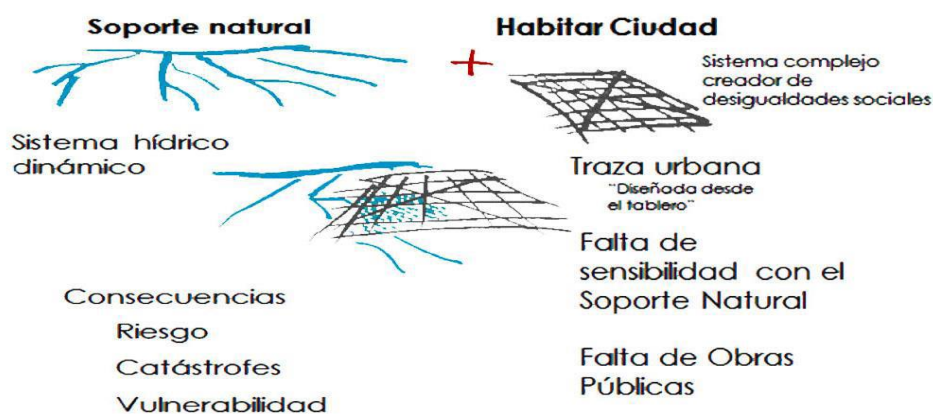
Resultados

Para el desarrollo de la propuesta de intervención en el área de estudio, se trabajó en dos etapas: por un lado, se realizó una síntesis diagnóstica enfocando el análisis al recorte del área de estudio propuesto, a partir de la cual se reconocieron conflictos y potencialidades y la cadena causal de dichos problemas, para la elaboración de lineamientos estratégicos de acción. Y por otro, se desarrolló una etapa de diseño y planificación de intervención en dos escalas articuladas, la escala territorial y la escala urbana.

Para ser llevado a cabo, se combinó la metodología de elaboración de un plan estratégico territorial, que pretende extender el alcance del proyecto trascendiendo el área de intervención. Ya que se parte de la concepción de sistema complejo, integrado por las variables ecológicas, ambientales, urbanas, sociales, económicas, culturales, etc., se requiere de intervenciones globales que alcancen la complejidad analizada. Y por otro lado, se incorporó la metodología del proyecto urbano, que apunta al desarrollo de propuestas de intervención física, que transformen la estructura de soporte del área, como base material para la implementación de los programas y proyectos estratégicos.

Este tipo de intervenciones directas permite establecer un nuevo contexto urbano, que apunte a transformar las relaciones históricas entre **hombre - agua – ciudad** (Figura 11), estableciendo nuevos parámetros de interacción más sustentables.

Figura 11. Relación entre hombre, agua y ciudad.



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Particularmente la intervención a la que se refiere este trabajo abarca la cuenca media del Arroyo del Gato y sus márgenes, donde la etapa de diagnóstico arrojó lineamientos estratégicos capaces de abarcar un proyecto de esta escala y complejidad. El diagnóstico evidenció el informal crecimiento de viviendas no planificadas sobre los bordes del arroyo, el gran número de población asentada en áreas inundables, la ausencia de un plan de contingencia, el alto nivel de degradación de suelos y contaminación ambiental e industrial de la Cuenca del Gato, la falta de gestión de los residuos sólidos urbanos; la escasa integración urbana de la cuenca y la presencia de altos niveles de vulnerabilidad social; entre otros.

El proyecto tiene como horizonte incorporar la problemática de las inundaciones al proyecto paisajístico, combinando la estructura urbana existente con la planicie de inundación resultante de la geomorfología del territorio.

La propuesta contempla así el diseño de zonas inundables con períodos de retorno cortos, a partir de una serie de parques y espacios públicos que son capaces de albergar equipamiento compatible con el ritmo hídrico del arroyo en cuestión. Los parques de laminación son capaces de funcionar favorablemente debido a su condición dinámica, ya sea como parques secos cuando el caudal es mínimo o como superficie absorbente capaz de contener grandes volúmenes de agua, a fin de actuar como fuelle entre el arroyo y la ciudad cuando el caudal es máximo. De este modo, se logra disminuir la vulnerabilidad urbana y social frente a la amenaza de precipitaciones regulares y extremas, gestionando el riesgo hídrico mediante recursos de diseño paisajístico.

También se busca reducir el efecto climático de la isla de calor y simultáneamente ayudar a lograr otros aspectos que integran usos múltiples (fijación de carbono, recirculación de precipitaciones, producción de alimentos y plantas ornamentales, espacios verdes públicos, entre otros).

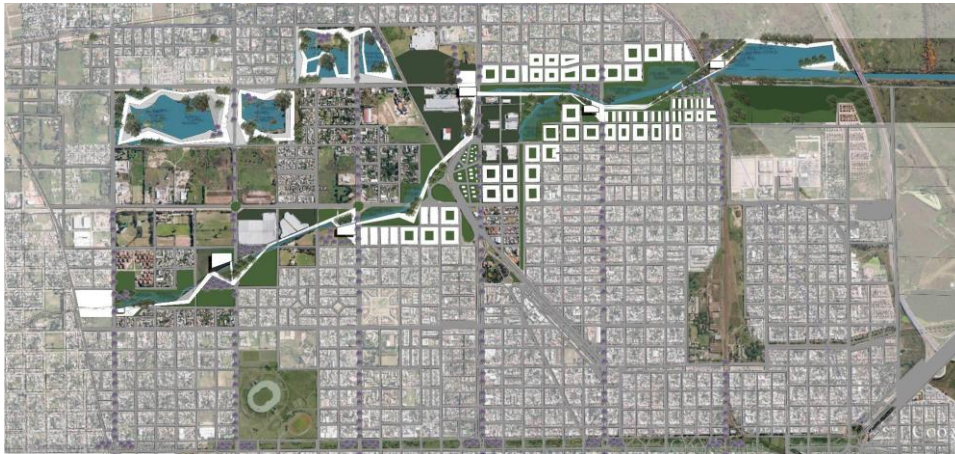
El parque lineal ha sido diseñado bajo la concepción de una visión contemporánea crítica que apunta hacia el regionalismo, entendiéndose que el mismo deberá ser construido con materiales y tecnologías propias de la región; y bajo un presupuesto acorde al marco económico local para garantizar su factibilidad, ejecución y mantenimiento.

Bajo la propuesta de recuperación paisajística de la Cuenca del Gato, se desarrollan tres líneas de acción: la regularización del proceso de urbanización; la articulación inter-jurisdiccional y mitigación del curso hídrico. Revalorizando así los recursos ambientales y disminuyendo los conflictos socio-urbanos. El parque recrea una nueva concepción urbana, en la cual el hombre cambia su concepción sobre la cuenca, vista a lo largo de la historia como "área residual", para desarrollar un nuevo vínculo que recree una nueva visión del "área convocante".

La propuesta se articula en dos etapas: un primer momento que comprende las intervenciones más importantes sobre los márgenes del arroyo, donde se realiza el tratamiento de los bordes, se renacionalizan áreas vacantes y ocupadas; y se incorporan usos públicos y pasibles de ser afectados por las crecidas del arroyo.

En una segunda etapa abierta en términos temporales, se propone la transformación paulatina del tejido urbano a partir de la modificación y adecuación a una nueva normativa urbana (Figura 12).

Figura 12. Propuesta: proyecto con las 2 etapas desarrolladas.



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Es importante destacar que la implementación de esta propuesta (Figura 13) implica la intervención en terrenos fiscales como privados, cuestión que requeriría una revisión del marco normativo y legal del municipio con las dificultades a las que esto conllevaría.

El proyecto si bien no cuenta con un grado de definición exhaustivo, pretende ser una primera aproximación al área de estudio y para que sea viable es necesario pensar en un consenso con la población involucrada mediante talleres participativos de diseño y programa de necesidades. De esta manera, se busca la apropiación e identificación del ciudadano con estos nuevos espacios para asegurar así su preservación y continuidad en el tiempo.

Figura 13. Corte de la propuesta.



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Para reinterpretar la relación cultura-naturaleza que aporta la mirada paisajística se incorporó el factor riesgo dentro del proceso de planificación y diseño paisajístico. De esta manera, se pudo comprender que los factores de vulnerabilidad socio-ambiental no están dados per se, sino que son construidos socialmente y son capaces de brindar pautas para el análisis y la intervención en el territorio.

Las metodologías utilizadas para el diagnóstico (que busca interpretar el territorio en toda su complejidad) y la utilizada para la etapa de desarrollo proyectual (que apunta a elaborar una propuesta paisajística que sea capaz de generar una nueva imagen urbana para la cuenca)

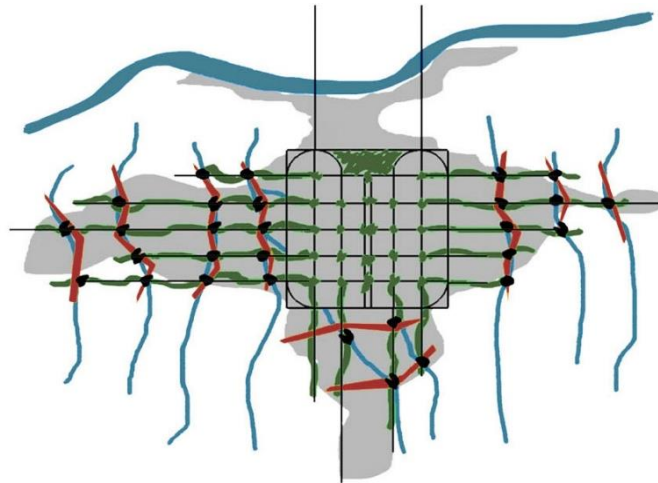
contribuyeron a recrear el equilibrio entre soporte natural e infraestructura urbana, coadyuvando a la reducción de los riesgos socio-ambientales previamente detectados.

CONCLUSIONES

La relación “agua-ciudad” en la RGLP siempre ha sido un punto conflictivo, incluso desde la fundación de la ciudad de La Plata. Debido a que en la ocupación de la región, tanto en la ejecución del tejido fundacional como en las expansiones no planificadas del tejido de la periferia, no se tuvo en cuenta el soporte natural del territorio.

De esta manera la ciudad se desplegó sobre el territorio generando quiebres donde la trama toma contacto con el sistema de arroyos, dando como resultado áreas residuales y vacíos urbanos sin propuesta. Estos espacios presentan una degradación urbano-ambiental producto de los procesos de ocupación informal por parte de la población marginada de la ciudad formal y del uso irregular del suelo. Ante lo dicho, el escenario actual de las cuencas de la región GLP se caracteriza por una desequilibrada relación entre el subsistema cultural y el subsistema natural que componen el territorio. En este sentido cabe mencionar que la Cuenca del Arroyo del Gato es altamente representativa en términos de conflictos ambientales, sistema hídrico y urbano, por esto es que se considera al abordaje planteado para esta cuenca, replicable en otras cuencas y sistemas de arroyos de la Región (Figura 14).

Figura 14. Replicabilidad de la propuesta.



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Las nuevas demandas surgidas de los rápidos y profundos cambios que se están produciendo en la sociedad y en las ciudades argentinas requieren de respuestas acordes a través de nuevas formas de intervención urbanística y estrategias de gestión. Por lo tanto, el sentido que adquiere hoy la intervención en el territorio no es solamente normativo sino también instrumental. La incorporación de la variable ambiental a los instrumentos de gestión de la ciudad supone adoptar el concepto de desarrollo sustentable como marco para el diseño e implementación de las políticas urbanas.

Sin embargo, en el municipio donde se inserta la propuesta no se detectan políticas integrales a nivel regional que incorporen la mirada sustentable. Las respuestas a las problemáticas urbanas suelen ser parciales e inmediatas. La ausencia de una gestión con visión sistémica dificultaría la implementación del proyecto y su impacto a nivel regional debido a los conflictos interjurisdiccionales que hoy en día se presentan.

Se puede decir entonces que las posibilidades de desarrollo futuros de las ciudades, dependerán de la gestión de las políticas de aplicación y desde la disciplina se deberán plantear modelos alternativos de sustentabilidad urbana aplicables a distintos casos. De esta forma, se cree que a través de este proyecto se puede dar respuesta a una problemática urbana actual, de forma de brindar respeto e identidad al pasado, tener calidad de vida en el presente y ofrecer flexibilidad al futuro.

BIBLIOGRAFÍA

Ábalos, I. (2005); Atlas Pintoresco Vol. 1: el observatorio. Editorial Gustavo Gili.

Comisión mundial del medio Ambiente y Desarrollo de las naciones Unidas - CMMAD –

(1987). “Informe Brundland”.

Consejo de Europa (2000). Convenio Europeo del Paisaje. Florencia. Italia.

Márquez, F. (2011). Planificación diseño y gestión participativa del paisaje. Editorial Nobuko

Herzer, H. (2011). Construcción del riesgo, desastre y gestión ambiental urbana: Perspectivas en debate. Revista Virtual REDESMA Vol. 5, Octubre 2011

Lavell, A. (2004). Vulnerabilidad social: Una contribución a la especificación de la noción y sobre las necesidades de investigación en pro de la reducción del riesgo. Disponible en INDECI: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc852/doc852-contenido.pdf>

Lynch, K. (1966). La imagen de la ciudad. Buenos Aires: Infinito.

Ravella, O. (2008). La ciudad entendida como un sistema complejo: estructura y tejido urbano. La Plata.

Roger, A. (2007). Breve tratado del paisaje. Madrid: Editorial Nueva, S.L.

Rogers, R. (2014). Ciudades para un pequeño planeta. Barcelona. Gustavo Gili, SA.

Varela, L. (2001). Paisaje, reflexiones. La Plata, Buenos Aires: Al Margen, Colección Universitaria, Arquitectura, 1° Edición.

Autores

Arq. María Elisa Cremaschi, Becario UNLP - LATEC y Docente FAU-UNLP. elisacre@hotmail.com

Arq. Nadia Freaza, Becario UNLP - IIPAC y Docente FAU-UNLP. elisacre@hotmail.com

Arq. Karina Jensen, Becario Doctoral CONICET - IIPAC. karinajensen_22@hotmail.com

Arq. Javier Reboledo, Arquitecto UNLP. javiereboledo@hotmail.com

Vegetación y confort en espacios públicos urbanos. Análisis comparativo de plazas de la ciudad de Rosario.

Jorge A. Vazquez¹, Sonia E. Omelianiuk², Brian Jones, Silvana Manrique

Resumen

El sistema de espacios públicos urbanos y su planificación, interacciona con el microclima urbano y con los aspectos psicológico ambientales, de gran relevancia para los ciudadanos, en cuanto determinan la calidad ambiental del entorno urbano. Se presenta un análisis comparativo de dos plazas de la ciudad de Rosario. Se estudia la incidencia de la estructuración física, el índice de arbolado, la masa foliar, permeabilidad e interacción del proceso de intercambios higrótérmicos, áreas asoleadas y en sombra, a fin de determinar sectores con condiciones “confortables”. Se presentan resultados del análisis de variables cuantitativas a partir de una modelización a través de la herramienta ENVI-Met que permiten determinar áreas con distintas situaciones de confort y con ello evaluar las contribuciones de la vegetación como elemento regulador de las condiciones microclimáticas. A partir de estos indicadores, el estudio intenta definir los servicios ambientales que aporta la vegetación en los espacios públicos urbanos.

Palabras clave: confort; espacios públicos; vegetación; microclima urbano; calidad ambiental.

Comfort in public spaces. Comparative analysis of squares in Rosario city

Abstract

The system of public spaces and planning interact with urban microclimate and its environmental psychological aspects, relevant for citizens so as to determine urban environment quality. A comparative analysis of two squares in the city of Rosario is presented. The study focuses on significant variables to identify areas with "comfortable" conditions: incidence of physical structure, trees ratio, foliage mass, permeability and hygrothermal processes interaction: sunny and shaded areas. The results of quantitative variables analysis are presented through ENVI-Met tool. The model allows to detect areas with different comfort situations and to assess the contributions of vegetation as a

¹ y ² Centro de Estudios del Ambiente Humano (CEAH FAPyD UNR). Riobamba 220 bis – C.U.R. S2000EKF Rosario, Santa Fe, Argentina. Tel/fax: +54-341- 480-8531/35 interno 117. e-mail: jvazquez@unr.edu.ar

regulatory element of microclimatic conditions. From these indicators, the study tends to define the environmental services provided by the vegetation in urban public spaces.

Keywords: comfort; public places; vegetation; urban microclimate; environmental quality.

Introducción

La ocupación explosiva del territorio, produce la dispersión de la ciudad y, con ella la insularización de los espacios naturales con la consiguiente pérdida de biodiversidad, la impermeabilización y el creciente sellado de grandes superficies, la distorsión del ciclo hídrico, la destrucción de valores paisajísticos, un excesivo consumo de materiales, agua y energía y, con ello un incremento en la emisión de contaminantes atmosféricos. Las áreas verdes cumplen diversas funciones en las ciudades: mejoran el clima urbano, capturan contaminantes del aire, funcionan como pantallas contra el ruido y proveen áreas de recreación y contacto con la naturaleza a la comunidad en la que se insertan. Sin embargo, muchos espacios verdes se pierden por la presión ejercida por usos del suelo más competitivos y esto constituye una amenaza para la calidad de vida de los habitantes. Por otra parte, las áreas verdes de calidad agregan valor al área en la que se insertan, la tornan más atractiva, promueven la satisfacción del público y su participación. Krier (1976: 2) establece que *“la calle y la plaza son los dos elementos básicos de la estructura urbana”*. Borja (2003: 25) expresa que *“el espacio público además de permitir el paseo y el encuentro, ordena cada zona de la ciudad y le da sentido”*.

El sistema de espacios públicos en la ciudad y su planificación, y el nivel de vegetación que presente, interaccionan con el sistema de microclima urbano y con aspectos psicológico ambientales de gran importancia para el habitante de la ciudad en cuanto determinan la calidad ambiental del entorno urbano. En este sentido Segovia y Jordán (2005: 18) afirman que *“la calidad del espacio público se podrá evaluar sobre todo por la intensidad y la calidad de las relaciones sociales que facilita, por su capacidad de acoger y mezclar distintos grupos y comportamientos, y por su oportunidad para estimular la identificación simbólica, la expresión y la integración cultural”*. Asimismo, la connotación de calidad ambiental urbana, entendida como la *“calidad del hábitat donde se desarrolla la vida colectiva”*, exige la presencia de condiciones específicas de habitabilidad. (Rangel M, 2009)

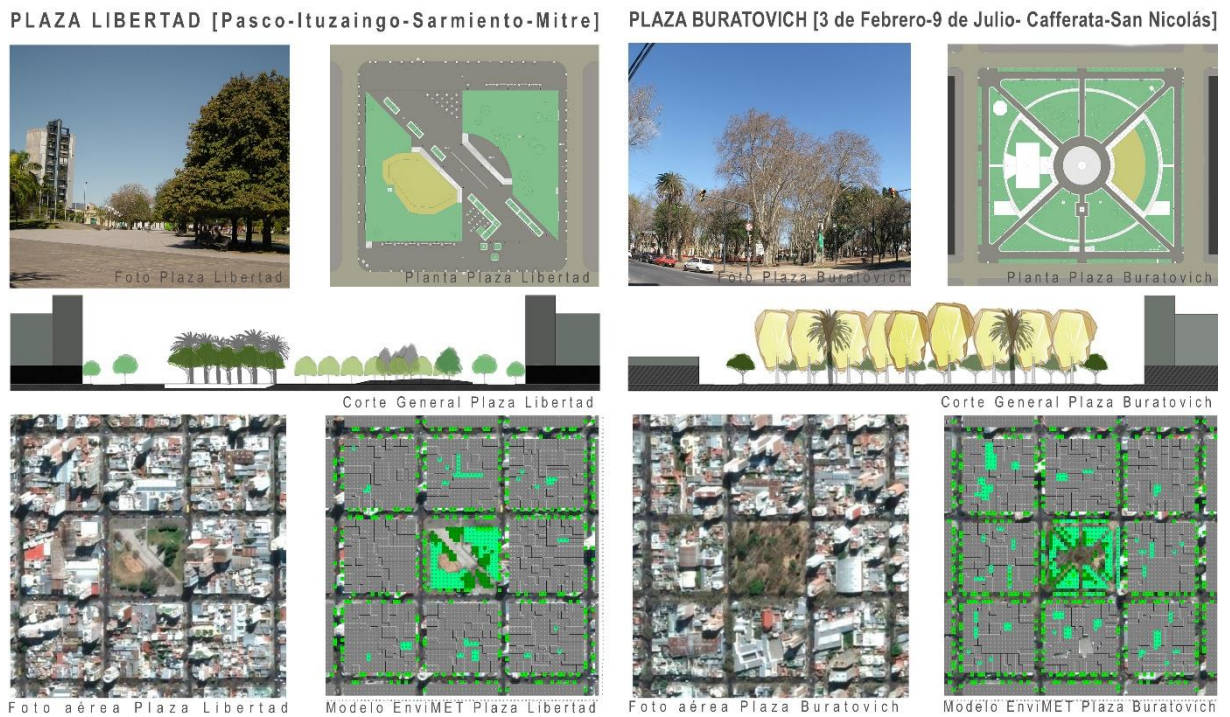
El espacio público urbano en la ciudad de Rosario, especialmente las plazas tienen un uso continuo independientemente de la estación del año. Sin embargo algunos espacios ven restringido su uso debido a las condiciones incómodas principalmente en época estival, debido a la escasez o ausencia de áreas sombreadas. (Vazquez J, Omelianiuk S. 2012) y (Vazquez J y otros 2012)

La progresiva densificación de la trama urbana, si bien incrementa en algunos casos la sombra (pero no en horarios alrededor del mediodía solar, ya que la altura del sol es próxima al cenit), reduce drásticamente la disponibilidad de aire para evacuar el calor que se almacena en la masa construida, e incluso contribuye a incrementar sobrecalentamiento a nivel peatonal. En las áreas abiertas es absolutamente necesaria la presencia de vegetación para contribuir a alcanzar condiciones de confort peatonal.

El caso de estudio refiere al análisis comparativo de dos plazas típicas de la ciudad de Rosario, insertas en la trama urbana consolidada, la plaza Libertad ubicada en el Primer Anillo Perimetral al área central y la plaza Buratovich dentro del Segundo Anillo Perimetral. (Figura 1) Similares en superficie, pero la primera con menor índice de vegetación y menor superficie permeable (Figura 2). En ambas se analizó el rol que las diferentes condiciones de conformación física, índices de arbolado, masa foliar,

permeabilidad e interacción del proceso de intercambios higrótérmicos, áreas soleadas y en sombra que determinan sectores con condiciones “confortables”. Se compararon condiciones estivales, con entornos construidos similares y distintos niveles de vegetación y arbolado, que generan espacios sombreados utilizables para actividades recreativas y garantizan cierto descanso acústico y visual. No casualmente, los sectores urbanos frentistas o vecinos a plazas son objeto del más alto interés inmobiliario, factor que contribuye al incremento del valor del suelo, con la inmediata consecuencia de empujar una transformación morfológica dirigida hacia la edificación en altura, considerada más rentable para los inversionistas, especialmente del sector residencial, en detrimento de la calidad ambiental del espacio público.

Figura 1: Casos de estudio: Comparación de Plazas y modelo EnviMet



Fuente: Figura elaborada por los autores.

Objetivos

Los objetivos generales del trabajo son (i) analizar las condiciones microclimáticas de los espacios urbanos públicos y la influencia de la vegetación en las condiciones de confort estival a nivel peatonal, (ii) analizar comparativamente las condiciones de confort estival a partir de la modelización con herramienta de simulación en dos plazas contrastantes (respecto a la presencia de vegetación) y (iii) correlacionar las variables cuantitativas con las de orden cualitativo en cuanto a preferencias y apropiación de los espacios.

Metodología

A los fines de poder estructurar el análisis se parte de comprender la interacción de las múltiples variables que vinculan las tres grandes categorías: las condiciones del ambiente natural, el ambiente artificial urbano-arquitectónico y los aspectos socio-culturales. El primer grupo de variables se refieren principalmente a los factores climáticos meteorológicos, el segundo grupo al ambiente construido y su

influencia en la forma física y material del espacio y su entorno inmediato, y el tercer grupo a los aspectos de orden social expresados en patrones culturales de respuesta a principios convivenciales, donde se manifiesta un sensible (y delicado) equilibrio entre los requerimientos de la vida individual y social. Para este último grupo se realizó una observación no participante y una encuesta mediante cuestionario estructurado. Se entrevistó al público asistente en horarios de la tarde, en días de laborables y feriados, discriminando por franjas etarias, sexo y grado de vecindad. El tamaño de la muestra está en relación directa al número de personas observadas durante cada período.

Para el análisis comparativo del primer y segundo grupo de variables se utiliza un modelo de simulación Envi-Met que permite evaluar, a partir de una situación definida, la influencia de un entorno específico, tomando en cuenta la presencia de plantas, suelos, edificios. (Bruse 2009).

Envi-Met es un programa de simulación microclimática diseñado para modelar las interacciones superficie-aire de la vegetación en el ambiente urbano, considerando datos meteorológicos como entrada y salida. Los campos de aplicación son la climatología urbana, la arquitectura, el diseño y planificación de áreas verdes, entre otras. (Bruse, 2009), (Duarte, D. y Gonçalves J. 2005), (González Viveros P. 2011). La literatura consultada demuestra que a pesar de las limitaciones, la herramienta es una de las mejores opciones, dado la facilidad de datos de entrada, tiempo de ejecución y valores de salida aceptables comparados con las magnitudes manejadas. (Tumini 2012: 155)

Datos meteorológicos de entrada: Se utilizó una entrada de datos meteorológicos del centro de Rosario (Complejo Astronómico Municipal), de un día de verano con temperatura ambiente típica de esperar, realizando corridas de 6 horas de simulación para las áreas configuradas. (Tabla 1)

Tabla 1. Datos climáticos de verano, datos entrada a Envi-Met 21 enero 2011 a las 12 h.

| | |
|------------------------------|-------------------|
| Temperatura ambiente inicial | 25,9 °C ó 298,9 K |
| Velocidad del viento a 10 m | 4,8 m/s |
| Dirección del viento | N = 0º |
| Longitud de rugosidad | 0,1 m |
| Humedad específica a 2500 m | 1,1 g/Kg |
| Humedad relativa a 2 m. | 52 % |

Fuente: Estación meteorológica Complejo Astronómico Municipal.

Resultados parciales

La diferencia más importante entre las dos plazas es la densidad de masa foliar (DMF) donde plaza Buratovich presenta un 78% más de masa foliar. De allí se desprende que las demás comparaciones de variables meteorológicas se encuentren afectadas por esta diferencia. (Figura 2)

Figura 2: Comparación de la biomasa foliar y superficies en ambas Plazas



Fuente: Gráficos elaborados por los autores.

La posibilidad de analizar el efecto de la vegetación como elemento de mitigación de los efectos microclimáticos, ha sido una de las principales razones del empleo de la herramienta ENVI-Met como sistema de modelización. Permite evaluar el efecto de la presencia de la vegetación en el espacio urbano, el efecto de absorción y reflexión de la radiación solar, y de la evapotranspiración.

Se analizaron las condiciones de confort exteriores a partir del índice PMV (voto medio previsto), método predictivo de la sensación térmica general y el grado de disconfort de las personas expuestas en un ambiente térmico moderado, definiendo las condiciones higrotérmicas ambientales consideradas “aceptables” así como aquellas que representan “disconfort” local. (Tumini, 2012:17)

Respecto de Temperatura Superficial es evidente la contribución de la vegetación y su localización en cada plaza. En relación con la Velocidad de Viento se evidencia un incremento hacia las áreas más abiertas (centros de las plazas). Con relación a la HR a la altura del peatón se verifica la influencia del viento y la contribución de la vegetación. En las gráficas de Temperatura Potencial a 1,60 m del suelo se evidencia la influencia del viento y las edificaciones del entorno. Respecto de la Temperatura Radiante Media se verifica la diferencia de albedo producto de la presencia de vegetación, evidenciándose la superficie pavimentada de la plaza Libertad. En cuanto a las condiciones ambientales generales resultan más favorables las que presenta la plaza Buratovich por la mayor área en sombra producida por la vegetación. (Figura 3)

En relación con los indicadores cualitativos se consideran tres grandes aspectos de carácter general que actúan como referentes para la evaluación de la calidad ambiental de las plazas analizadas. Como dice E. Perón, “no hay una preferencia ambiental sino muchas preferencias, que varían según el motivo por el que se evalúa el lugar”. (E. Perón, 2002)

En la encuesta elaborada se realizó un sondeo de opinión acerca de la percepción del espacio público y las preferencias que desean encontrar los usuarios en diversos aspectos, que se agruparon en tres categorías:

La primera: los aspectos referidos a las condiciones del ambiente natural que se relacionan con el confort higrotérmico tales como vegetación y aire puro.

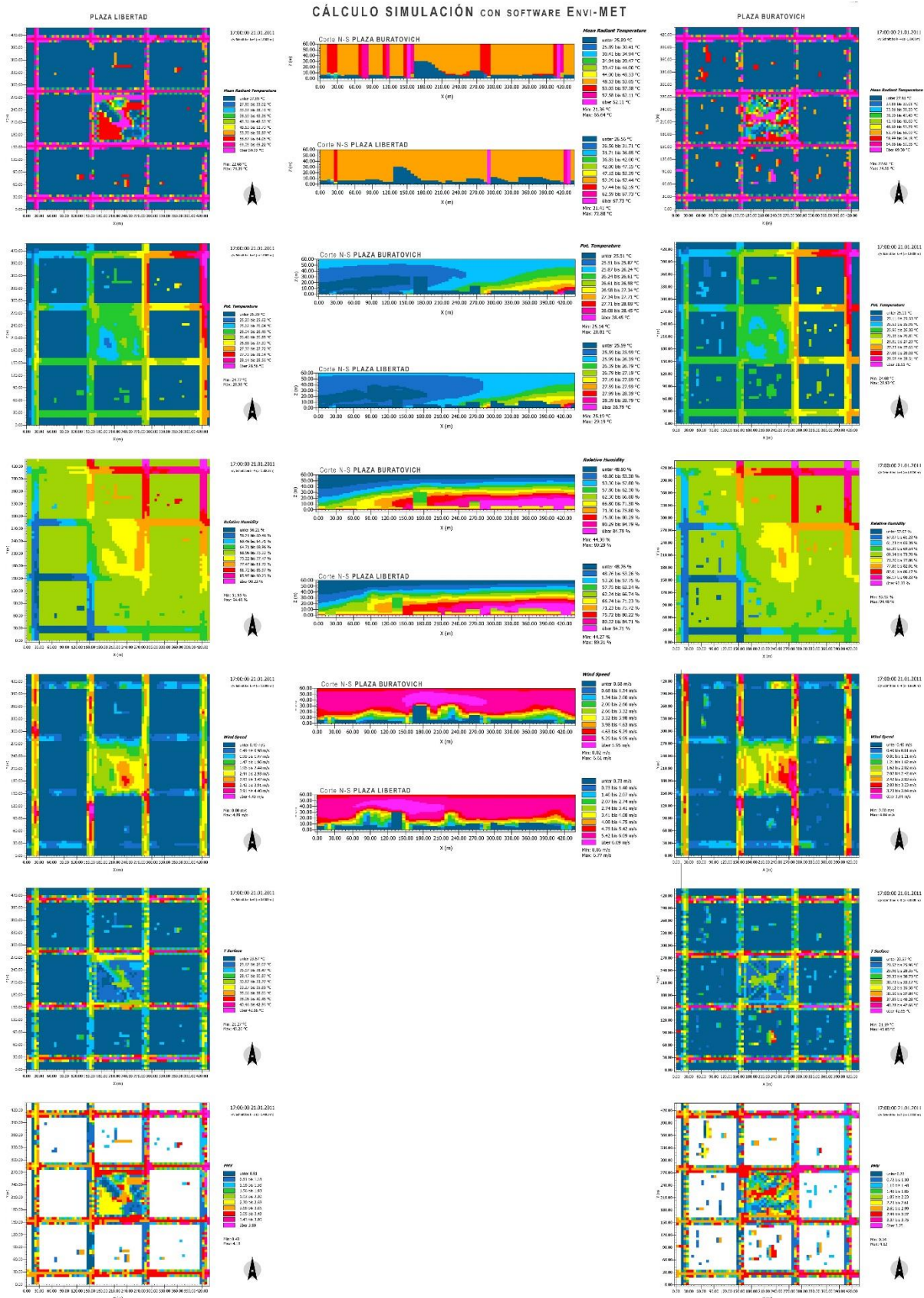
La segunda: el ambiente artificial urbano-arquitectónico tales como paisaje y equipamiento de la plaza.

El tercer rasgo está determinado por aspectos de orden social, expresados en patrones culturales y mecanismos de control, tales como limpieza y seguridad.

Las respuestas se agruparon en concordancia con dichas categorías, clasificándose en Importante, Muy importante y Menos importante en función de la valoración efectuada por los entrevistados. (Figura 4).

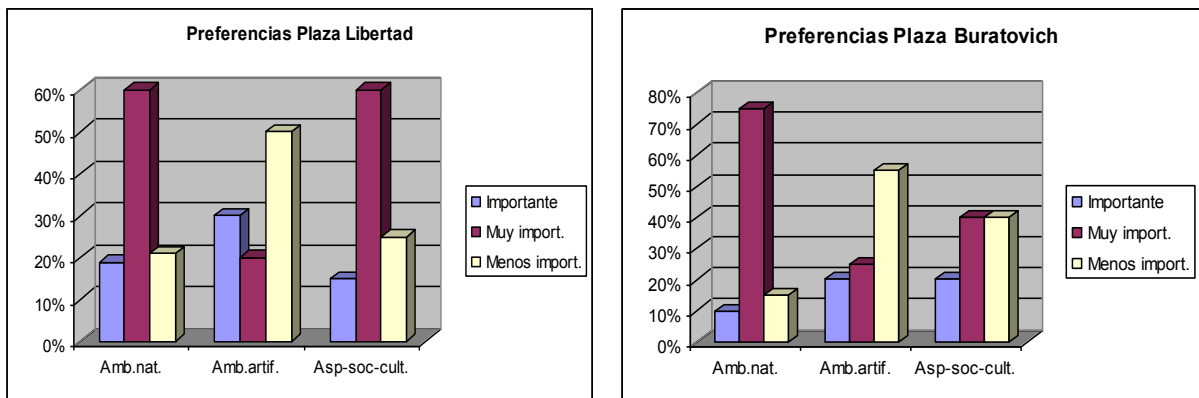
Con relación a la percepción del espacio se preguntó respecto de la sensación de confort experimentada en la plaza. Para este indicador cualitativo se presentaron tres opciones: Muy Confortable, Confortable y No Confortable. De los resultados se destaca que en plaza Buratovich no se registran respuestas negativas, repartiéndose en partes iguales las valoraciones positivas respecto de las sensaciones de confort experimentadas. (Figura 5)

Figura 3: Resultados de la simulación a las 17 hs del 21 enero.



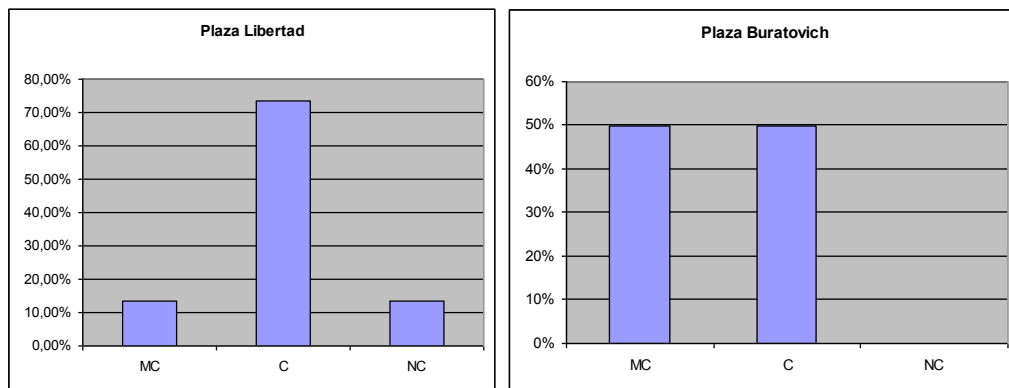
Fuente: Gráficos de salida de Envi-Met elaborados por los autores.

Figura 4: Preferencias por categoría: Ambiente Natural, Ambiente Artificial y Aspectos socio-culturales



Fuente: Gráficos elaborados por los autores.

Figura 5: Percepción de los usuarios de las condiciones de confort en las Plazas



Fuente: Gráficos elaborados por los autores.

Conclusiones

Del análisis se desprende que el espacio público constituye el soporte físico de actividades cuyo fin es satisfacer las necesidades urbanas colectivas que trascienden los límites de los intereses individuales. Desde el punto de vista de la arquitectura, es fundamental la calidad del diseño y la materialidad de los espacios públicos. La vegetación y los aspectos sociales como la seguridad y la limpieza son los elementos más valorados dentro de las preferencias de los usuarios respecto de la calidad de los espacios públicos. La posibilidad de encontrar condiciones de confort por la presencia de vegetación promueve la heterogeneidad de actividades y usuarios. La presencia de parches o pequeños relictos de naturaleza dentro de la trama urbana consolidada, satisface las necesidades del habitante urbano de experimentar momentos de contacto con el ambiente menos artificial, mucho mejor aún si la ubicación espacial esta dentro del entorno inmediato. Esto es reconocido por la frecuencia de uso. Tomando en consideración el clima de la ciudad de Rosario, es indudable la "capacidad restauradora" de las plazas públicas vegetadas, y el reconocimiento de esos atributos por parte de los usuarios, en su mayoría vecinos. Por consiguiente las políticas públicas deben apuntar a consolidar los espacios públicos de calidad ambiental urbana y propiciar la creación y construcción de nuevos espacios públicos con diferentes grados de amenidades para el disfrute de los ciudadanos.

Es posible concluir entonces que espacios públicos con una mayor diversidad en sus patrones espaciales, áreas abiertas y áreas en sombra por la presencia de vegetación, permiten acoger a usuarios de diferentes sexos y edades, personas solas, en pareja o en grupos; que intercalan y desarrollan actividades diversas, dinámicas y pasivas: juegos y deportes, conversación, paseo y descanso. La existencia de distintas situaciones estimulan un uso más intensivo, más diverso y más heterogéneo de los espacios públicos fortaleciendo el desarrollo de actividades socio-culturales.

Bibliografía

- Borja, J y Muxí Z (2003). *El espacio público: ciudad y ciudadanía*. Alianza, Madrid.
- Bruse, M. and team (2009) *ENVI-met 3.1 Manual Contents*. Institute of Geography of the University of Mainz, Alemania. <http://www.ENVI-met.com/htmlhelp/helpindex.htm>
- Duarte, D. y Gonçalves J. (2005). *Research outline, structure and contents of the research work to be developed by the Brazilian team based on the final considerations of the workshop 2, Cambridge, São Paulo*. Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética. http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/trabalhos_recentes/sustainable_urban_space.pdf
- González Viveros P. (2011) *Evaluación microclimática por cambio de uso de suelo en la Ciudad de México utilizando el modelo ENVI-met*. Tesis, Universidad Veracruzana, Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas, Xalapa-Equez., Veracruz, Méjico.
- Krier, Robert (1976) *Teoría y Práctica de los Espacios Urbanos*. Edit. G. Gili. Barcelona.
- Peron E. (2002) *Preferencias Ambientales y Capacidad Restauradora de los Lugares*. En García Mira R., Sabucedo J. y Romay J. ed. *Psicología y Medio Ambiente, Aspectos psicosociales, educativos y metodológicos*. Asoc. Galega de estudios e investigación psicosocial. La Coruña, España. 263-276.
- Rangel M. Maritza (2009) *Indicadores de calidad de espacios públicos urbanos, para la vida ciudadana, en ciudades intermedias*. 53º Congreso Internacional de Americanistas, Méjico.
- Segovia O. y Jordán (2005) *Espacios públicos urbanos, pobreza y construcción social*. Medio Ambiente y desarrollo, N° 122. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL, Chile.
- Tumini, Irina (2012) *El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid*. Tesis doctoral, ETSAM, Universidad Politécnica de Madrid.
- Vazquez J, Omelianiuk S. Colaboradores: Daniele M y Jones B. (2012) *Percepción ambiental y bienestar urbano en plazas de la ciudad de Rosario*. 1er. Congreso Latinoamericano de Ecología Urbana. UNGS. ISSN: 978-987-28177-0-1
- Vazquez J., Omelianiuk S y Jones B. (2012) *Análisis de variables de morfología y clima urbano en la ciudad de Rosario*. VI Jornada de Ciencia y Tecnología 2012, UNR, ISSN: 978-950-673-987-4.

Autores

Jorge A. Vazquez es Arquitecto, Mag. en Sistemas Ambientales Humanos, CEI-UNR, Investigador Independiente Consejo de Investigaciones UNR, docente FAPyD-UNR. jvazquez@unr.edu.ar

Sonia E. Omelianiuk es Arquitecta, Docente-Investigadora FAPyD-UNR. somelian@gmail.com

Brian Daniel Jones Silva es estudiante del último año carrera Arquitectura FAPyD, auxiliar de investigación del CEAH. FAPyD-UNR. brian_jones_silva@hotmail.com

Silvana Manrique es Arquitecta, graduada reciente, auxiliar de investigación del CEAH, FAPyD-UNR. silvanammanrique@gmail.com

¿En qué medida la forma urbana afecta al comportamiento térmico exterior? Un estudio para reducir la isla de calor urbana en una ciudad árida.

María Belén Sosa¹, Erica Correa Cantaloube², María Alicia Cantón³

Resumen

El paisaje construido modifica los parámetros micro-climáticos de un sitio. Una de las principales alteraciones es el aumento de la temperatura del aire, que da origen al fenómeno de isla de calor urbano (ICU). La ICU aumenta la demanda de energía eléctrica y disminuye la habitabilidad de los espacios interiores y exteriores. Este trabajo busca identificar formas urbanas que colaboren a reducir el efecto de la ICU en Mendoza; mediante el análisis y comparación del comportamiento térmico de 10 canales viales urbanos (CVU) representativos durante el periodo de verano. Los resultados del trabajo muestran que los CVU de tipo abierto-forestado se mantienen más frescos en comparación al caso compacto-sin forestación, $\Delta T^{\circ}\text{media}=2.5^{\circ}\text{C}$. Pero, para proponer un esquema de crecimiento urbano de tipo abierto-forestado en ciudades de clima árido es necesario analizar en profundidad otros aspectos del urbanismo, además del energético-ambiental, que sirvan para asegurar el desarrollo urbano sustentable.

Palabras clave: isla de calor urbano, ciudades áridas, forma urbana, desarrollo urbano sustentable.

To what extent urban form affects the exterior thermal behavior? A study for reduce the urban heat island in an arid city.

Abstract

The built landscape modifies the micro-climatic parameters of a site. One of the major impacts is the increase of the air temperature, which gives rise to the phenomenon of urban heat island (UHI). The UHI increases the demand for electricity and decreases the livability of the interior and exterior spaces. This paper aims to identify urban forms that help to mitigate the effect of the UHI in Mendoza; analyzing and comparing the thermal behavior of 10 representative urban canyons during the summer. The results show that the open-forested group of cases keeps cooler compared to the compact-without forestation, $\Delta T^{\circ}\text{mean}=2.5^{\circ}\text{C}$. But to propose the open-forested scheme for urban growth in

^{1 2 y 3} Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INHAE-CONICET-CCT Mendoza). Av. Ruiz Leal s/n, Parque Gral. San Martín, Mendoza, Argentina. Tel: +54-261-54-4300. e-mail: msosa@mendoza-conicet.gob.ar

arid cities, it is necessary to perform a discussion that consider other aspects of urban planning, including the energetic and environmental standpoint, to ensure sustainable urban development.

Keywords: urban heat island, arid cities, urban form, sustainable urban development.

Introducción

Se conoce que las ciudades —paisaje construido— consumen mayor cantidad de energía por unidad de superficie en comparación a un ecosistema natural —paisaje natural— (Odum, 1980). Esta energía es necesaria para dar funcionamiento al denominado “metabolismo urbano” (Wolman, 1965). Dicho metabolismo impacta en el paisaje natural modificando, entre otros factores, los parámetros del clima en dos escalas: macro-escala calentamiento global y micro-escala alteración del clima urbano. Una de las principales alteraciones del clima urbano da origen al fenómeno denominado isla de calor urbana (ICU), que genera que en el centro de la ciudad la temperatura del aire sea más elevada en relación con el ambiente natural circundante (Oke, 1982).

En las ciudades, los canales viales urbanos (CVU) usualmente cubren más de un cuarto del total del área urbana, por lo tanto su morfología, materialidad y orientación modifican en gran medida los parámetros del clima urbano (Shashua-Bar, et al 2003). Así mismo, las alturas de las edificaciones (Lin, et al, 2010, Ruiz, et al, 2015), las propiedades termofísicas de los materiales usados en sus envolventes (Alchapar, 2015) sumado a la escasez de zonas verdes; pueden crear combinaciones urbanas térmicamente inadecuadas. Siendo estos factores posibles promotores e intensificadores de la formación de la ICU (Givoni, 1989).

El área de estudio, Área Metropolitana de Mendoza (AMM), se sitúa en el centro-oeste de Argentina, su clima es de tipo árido y su geomorfología esta formada por un cordón montañoso al oeste que decrece hasta formar mesetas. Las ciudades desarrolladas en este tipo de clima, pueden presentar dos tipos de modelos urbanos: compacto y abierto. El modelo compacto tiene un desarrollo urbano continuo, conformado por edificios altos y calles estrechas, el uso de vegetación es inexistente o escaso. Por otro lado, el modelo abierto —como es el área de estudio— tiene calles anchas y construcciones relativamente bajas, e intensa forestación que conforman túneles verdes (Correa, et al, 2010).

En el AMM habita el 62.8% del total de la población de Mendoza y, particularmente, durante la última década la población urbana se incrementó en un 9.4% (INDEC, 2010). Este aumento de población genera una expansión del paisaje construido. La forma de crecimiento y disposición de esta expansión impacta en las condiciones climáticas naturales del sitio de inserción. Este escenario colabora a que se aumente la absorción y retención de la radiación solar (inercia térmica) y la rugosidad de suelo; factores que modifican los patrones de escurrimiento, infiltración y evaporación. Como así también, aumenta la capa límite térmica y mecánica afectando la penetración de vientos (Oke, 1982). Estrictamente desde un punto de vista térmico, esta alteración de los perfiles de viento, afecta las posibilidades de enfriamiento de tipo convectivo tanto en la periferia como del centro de la ciudad, dificultando los procesos de renovación y purificación del aire urbano.

Desde hace más de 10 años el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – INCIHUSA – CONICET – CCT Mendoza investiga la existencia, causas y consecuencias del fenómeno en el AMM. Donde uno de los principales impactos que genera la ICU es el incremento de hasta un 20% en el consumo energético para enfriar las edificaciones durante el verano. Así mismo, este fenómeno, deteriora la calidad del

aire y las condiciones de confort térmico provocando una disminución del grado de habitabilidad y uso de los espacios abiertos públicos (Correa, 2008).

Particularmente, en el año 2014 se registró una intensa ola de calor en el AMM que aumentó la temperatura del aire a valores de más de 40°C. En respuesta a este aumento, los edificios utilizaron de manera exhaustiva los equipos de refrigeración para satisfacer las necesidades de confort térmico interior. Esta situación provocó que se alcanzaran valores records de consumo de energía eléctrica, donde la demanda de potencia máxima del mes de Enero de 2014 tuvo una variación de +11.5% respecto al mismo mes del año anterior (EPRE, 2014).

Es por ello, que la caracterización de la ICU es una herramienta que permite evaluar y cuantificar el incremento en los consumos energéticos vinculado a los patrones de asentamiento o desarrollo de la ciudad. Donde el diagnóstico de este fenómeno —como indicador de sustentabilidad urbana— puede posibilitar el desarrollo de estrategias para reducir y mitigar los efectos que ejerce la ciudad sobre el clima.

Dentro de este contexto, el trabajo plantea como objetivo conocer, analizar y comparar el comportamiento térmico de diversas tramas urbanas de baja densidad edilicia, para identificar el mejor esquema urbano (combinación morfológica y forestal), que colabore a reducir el efecto de la isla de calor en el AMM.

Metodología

El proceso de selección de los casos de estudio está descrito, analizado y caracterizado de acuerdo a 3 escalas: 1. Macro-escala (departamento), 2. Meso-escala (trama urbana) y 3. Micro-escala (canal vial). Asimismo, se detalla el proceso de adquisición de datos meteorológicos y monitoreo a fin de conocer y caracterizar su comportamiento térmico.

1. Macro-escala, selección de departamentos

El AMM está conformado por 6 departamentos: Capital, Las Heras, Godoy Cruz, Guaymallén, Maipú y Luján de Cuyo. Con el objetivo de delimitar el área de estudio, se seleccionaron los departamentos de mayor ocupación demográfica según los datos del censo realizado por el INDEC en el año 2010. Como resultado de este análisis, los departamentos de mayor ocupación son los 3 que limitan con la capital de la provincia: Guaymallén (16%), Las Heras (12%), Godoy Cruz (11%). Asimismo, la Capital de la provincia (6%) se seleccionó por ser el departamento central del AMM, sin embargo en la última década su población ha disminuido en un 1%. Este dato demuestra, entre otros factores, como las áreas residenciales se han ido desplazando hacia otros sectores de la ciudad.

Con el fin de caracterizar y cuantificar los tipos de tramas urbanas existentes dentro de los 3 departamentos seleccionados, se realizó un relevamiento de tipologías de manzanas. Esta tipificación se realizó utilizando un plano catastral del año 2012 y el software AutoCAD®, de acuerdo a 4 formas:

Manzana Damero: Los cuatro lados tienen iguales dimensiones, indicado en color lila.

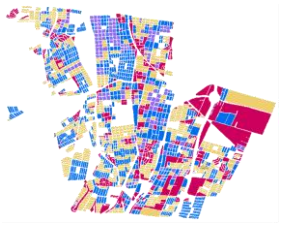

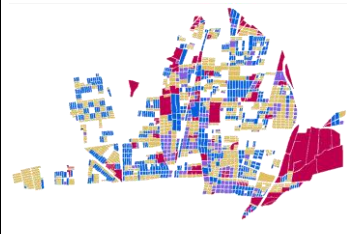
Manzana Rectangular: Dos de sus lados tienen mayor longitud. En el relevamiento se diferencian según la orientación de mayor exposición en eje Norte-Sur (color celeste) o Este-Oeste (color naranja).

Manzana Irregular: Pueden tener 4 o más lados de diferentes longitudes, indicado en color magenta.

Los resultados del relevamiento gráfico se detallan en la tabla 1, donde se muestran los mapas de cada departamento con su correspondiente codificación de color por tipología de manzana y se indica el

porcentaje que representa dentro del departamento. Al analizar los datos del relevamiento, se concluye que en Godoy Cruz la forma con mayor representatividad es la de tipo rectangular en ambas orientaciones (31%). Caso contrario sucede en Guaymallén donde la forma de manzana más representativa es la de tipo irregular (48%). Por último el departamento de Las Heras coincide en mantener su forma irregular (33%), seguida por la forma rectangular con orientación Norte-Sur (30%). Cabe aclarar que el departamento Capital no se relevó mediante esta metodología ya que se conoce que la forma de manzana más representativa es la damero (Stocco, et. al, 2013).

Tabla 1. Tipificación y cuantificación de manzanas por departamento.

| | Godoy Cruz | Guaymallén | Las Heras |
|---------------|---|---|--|
| Planimetría |  |  |  |
| Damero (%) | 10 | 7 | 10 |
| Rect. E-O (%) | 31 | 25 | 30 |
| Rect. N-S (%) | 31 | 20 | 27 |
| Irregular (%) | 28 | 48 | 33 |

2. Meso-escala, selección de tramas urbanas

A partir de la tipificación de morfologías de manzanas, en los 4 departamentos seleccionados, se escogieron 4 conjuntos urbanos (barrios) de diversas tramas. Se entiende por trama urbana a la forma que generan un conjunto de calles y manzanas que existen en un sector de territorio (Marshall, 2005).

En este estudio se escogieron 4 tipologías de tramas que difieren en cuanto a forma y orientación, pero que al mismo tiempo mantienen similares ciertas características que permiten comparar e identificar a las morfologías con mejor comportamiento térmico. Las características a mantener constantes se agrupan en 2 niveles: **1. Entorno:** uso residencial y grado de enverdecimiento (el porcentaje de verde se determinó mediante el análisis de imágenes multiespectrales con el sistema de procesamiento MultiSpec©), **2. Características del barrio:** ancho (WC) y material de calle (MC), superficie edificada promedio por lote (SSPL), altura media de las casas (HMC), relación altura media edificada sobre ancho de calle (H/W), material fachada (MF), ancho (WV) y material de vereda (MV) y especie forestal (EF). La tabla 2 muestra los valores del análisis y características de los 4 barrios seleccionados del AMM.

Cabe destacar que el caso 4, denominado como 4° sección de la ciudad, es considerado como caso atípico para el área de estudio. En esta área existe una calle de ancho notablemente menor (5.5m) al predominante en el AMM (16, 20 y 30m) y sin forestación. Este caso compacto se contrastó con 2 calles colindantes de ancho y esquema de forestación característico de la zona y similares a los barrios seleccionados.

3. Micro-escala, selección de canales viales urbanos

Para seleccionar el sitio de monitoreo microclimático dentro de cada barrio, se buscaron aquellos canales viales urbanos (CVU) que fueran representativos dentro de cada trama seleccionada. Dichos

CVU se caracterizaron mediante 3 grupos de descriptores e indicadores, de tipo: morfológico, forestal y cobertura. Este último grupo —cobertura— se añade con el objetivo de clasificar y caracterizar a los casos con el estudio de Stewart y Oke (2012), Local climate zones for urban temperature studies (LCZ).

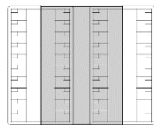
Tabla 2. Descriptores y valores de los 4 casos seleccionados.

| Caso | 1. Multi-azimutal B° Fuchs | 2. Cul-de-Sac B° Cadore | 3. Rectangular B° Cementista | 4. Reticular 4° sección ciudad | |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------|
| Trama urbana | | | | | |
| Departamento | Godoy Cruz | Guaymallén | Las Heras | Capital | |
| Porcentaje de verde | 12% | 13% | 13% | 14% | |
| | | | | | |
| WC (m) | 20 | 16 | 16 - 20 | 20 | 5.5 |
| MC | Asfalto | Asfalto | Concreto | Concreto | |
| HMC (m) | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| SSPL (m2) | 80 | 80 | 80 | 80 | |
| H/W | 0.15 | 0.15 | 0.15/0.19 | 0.15 | 0.55 |
| MF | Pintura clara | Pintura clara | Pintura clara | Pintura clara | |
| WV (m) | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 |
| WM | Baldosa calcárea | Baldosa calcárea | Baldosa calcárea | Baldosa calcárea | |
| EF | <i>Morus alba</i> | <i>Ulmus umbraculifera</i> | <i>Morus alba</i> | <i>Tipuana tipu</i> | - |

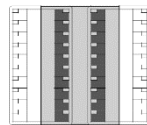
A continuación se presentan los descriptores e indicadores utilizados en cada grupo:

1. Morfológicos: largo (L), ancho (W), superficie del canal vial (SCV), azimut (Az), eje de orientación (O), cantidad viviendas (CV), superficie total construida (STC), volumen total construido (VTC), compacidad (C) y factor de visión de cielo (SVF). La figura 1 sintetiza el área considerada como área de estudio.

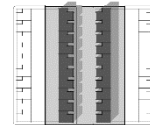
Figura 1. Descripción del área considerada de estudio (CVU), indicada en color gris.



Superficie del canal vial (SCV) (m2):
Considerada como área de estudio, sumatoria de las superficies de las parcelas que dan frente sobre la calle + aceras y calzada.



Superficie total construida (STC) (m2): Sumatoria de las superficies edificadas dentro del área de estudio.


















Volumen total construido (VTC) (m3):
Resultado de multiplicar la superficie total construida por la altura de las construcciones. Expresión= $STC \times H$

2. Forestales: número de árboles (NA).

3. Cobertura: porcentaje de superficie sellada (PSS), porcentaje de superficie permeable (PSP) y rugosidad del suelo (R) y clase climática según Oke (LCZ).

A partir de esta caracterización se establecieron los casos de estudio a micro-escala, CVU, dentro de cada trama. Donde para la trama multi-azimutal, caso 1 (B° Fuchs), se seleccionaron los 2 CVUs rectangulares que tienen leves cambios en su orientación, siendo el eje de mayor exposición E-O. Para la trama discontinua, caso 2 (B° Cadore) se seleccionó 1 CVU con orientación E-O. En la trama rectangular, caso 3 (B° Cementista) se seleccionaron 4 CVUs; 3 con orientación N-S de distintos largos y 1 con orientación E-O. Por último, en la trama reticular caso 4 (Centro, 4° sección) se seleccionó el CVU que responde a la condición de atípica —compacta y sin forestación— y también los 2 CVUs colindantes típicos —abiertos y forestados—. En la tabla 3 se muestran los valores de los descriptores e indicadores utilizados para caracterizar cada caso.

Tabla 3. Valores de descriptores e indicadores utilizados en cada grupo de caracterización.

| Forma de trama | Multi-azimutal | | Cul-de-Sac | Rectangular | | | | Reticular | | | |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|
| Caso | 1.a | 1.b | 2 | 3.a | 3.b | 3.c | 3.d | 4.a | 4.b | 4.c | |
| Planimetría |  |  |  |  | | | |  | | | |
| 1. Morfológicos | L (m) | 255 | 226 | 145 | 128 | 192 | 83 | 81 | 116 | 110 | 112 |
| | W (m) | 20 | 20 | 20 | 16 | 16 | 20 | 20 | 20 | 20 | 5.5 |
| | SCV (m ²) | 15086 | 13470 | 9545 | 7129 | 10990 | 4070 | 5277 | 7651 | 7929 | 3600 |
| | Az (°) | 146 | 193 | 81 | 181 | 181 | 92 | 184 | 89 | 89 | 85 |
| | O (°) | E-W | E-W | E-W | N-S | N-S | E-W | N-S | E-W | E-W | E-W |
| | CV (u) | 47 | 43 | 28 | 20 | 32 | 16 | 16 | 21 | 19 | 22 |
| | STC (m ²) | 5699 | 4809 | 2945 | 2492 | 3789 | 1539 | 2759 | 3596 | 3242 | 2326 |
| | VTC (m ³) | 17097 | 14427 | 8835 | 7476 | 11367 | 4617 | 8277 | 10788 | 9726 | 6978 |
| | C (VTC / SCV) | 1.13 | 1.07 | 0.93 | 1.05 | 1.03 | 1.13 | 1.03 | 1.41 | 1.23 | 1.94 |
| | SVF |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 0.69 | 0.60 | 0.57 | 0.27 | 0.35 | 0.61 | 0.46 | 0.16 | 0.50 | 0.74 | |
| 2 | NA (u) | 53 | 52 | 36 | 44 | 53 | 21 | 23 | 31 | 24 | 0 |
| | PSS (%) | 38 | 36 | 31 | 35 | 35 | 45 | 40 | 47 | 40 | 65 |
| | PSP (%) | 32 | 29 | 39 | 36 | 37 | 30 | 22 | 23 | 31 | 18 |
| | R | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| 3. LCZ | LCZ | 6b | 6b | 6b | 6b | 6b | 6b | 6b | 6b | 6b | 3 |

Al analizar los valores de los descriptores morfológicos se desprende que tanto el largo, la superficie del canal vial, la cantidad viviendas (esta en relación al largo de calle), la superficie y volumen total construido y la compacidad varían entre los 10 casos. El ancho de calle varía entre 3 dimensiones: 20 (7 CVUs), 16 (2 CVUs) y 5.50m (1 CVU - 4.c). El azimut también varía, ya que depende de la orientación de la manzana (considerando azimut 0° al Sur) y en cuanto a los ejes de orientación, 3 CVU están en sentido N-S y 7 en E-O. El indicador SVF, que también varía, fue calculado a partir de imágenes hemisféricas capturadas con una cámara digital Nikon® CoolPix equipada con un lente ojo de pez; procesadas con el software Píxel de Cielo desarrollado por Correa (2006). Este software obtiene el valor de SVF en condiciones de cielo despejado, con forestación urbana intensa y en ciudades con alta reflectividad, típica de regiones áridas como es el caso de este estudio.

Dentro de la categoría forestal, el número de árboles varía entre 0 (caso sin forestación, 4.c) y 53. Por último, la clasificación climática muestra que 9 casos corresponden al LCZ 6_b, esquema urbano abierto-forestado, de uso residencial y baja altura, donde el SVF a nivel de la calle se reduce ligeramente por

la existencia de forestales. En cambio, el caso denominado 4.c corresponde a la categoría LCZ 3, donde la edificación también es de baja altura, la cobertura de suelo es pavimentada y no hay forestación.

4. Monitoreo y obtención de datos microclimáticos

Con el propósito de recopilar los valores de las variables microclimáticas para conocer el comportamiento térmico de cada CVU, se instaló un sensor fijo en cada calle desde el 8 de enero hasta el 10 de febrero de 2014 (32 días corridos). Cada sensor de tipo H08-003-02 se ubicó a una altura de 2 m desde el nivel de la calle (Oke, 2004), dentro de una caja blanca de PVC perforada, con el objeto de evitar la irradiación y asegurar una adecuada circulación de aire. Las mediciones de temperatura, humedad relativa y humedad absoluta fueron programadas cada 15 minutos.

Resultados

Los resultados del monitoreo microclimático de los 10 CVU localizados en los 4 barrios seleccionados se analizaron en 2 etapas: 1. Comportamiento térmico de cada CVU y 2. Comparación de los CVU más frescos y más cálidos dentro y entre cada trama. Cabe destacar que en el trabajo se analizan los valores de temperatura máxima por ser uno de los factores que determina el grado de habitabilidad del espacio exterior, la temperatura mínima que refleja las posibilidades de enfriamiento —considerada como una estrategia para reducir la ICU— y la temperatura promedio que se relaciona con el consumo energético para el acondicionamiento térmico de edificios mediante el concepto de los grados día de refrigeración y calefacción (Al-Homoud, 1998).

1. Comportamiento térmico de cada CVU

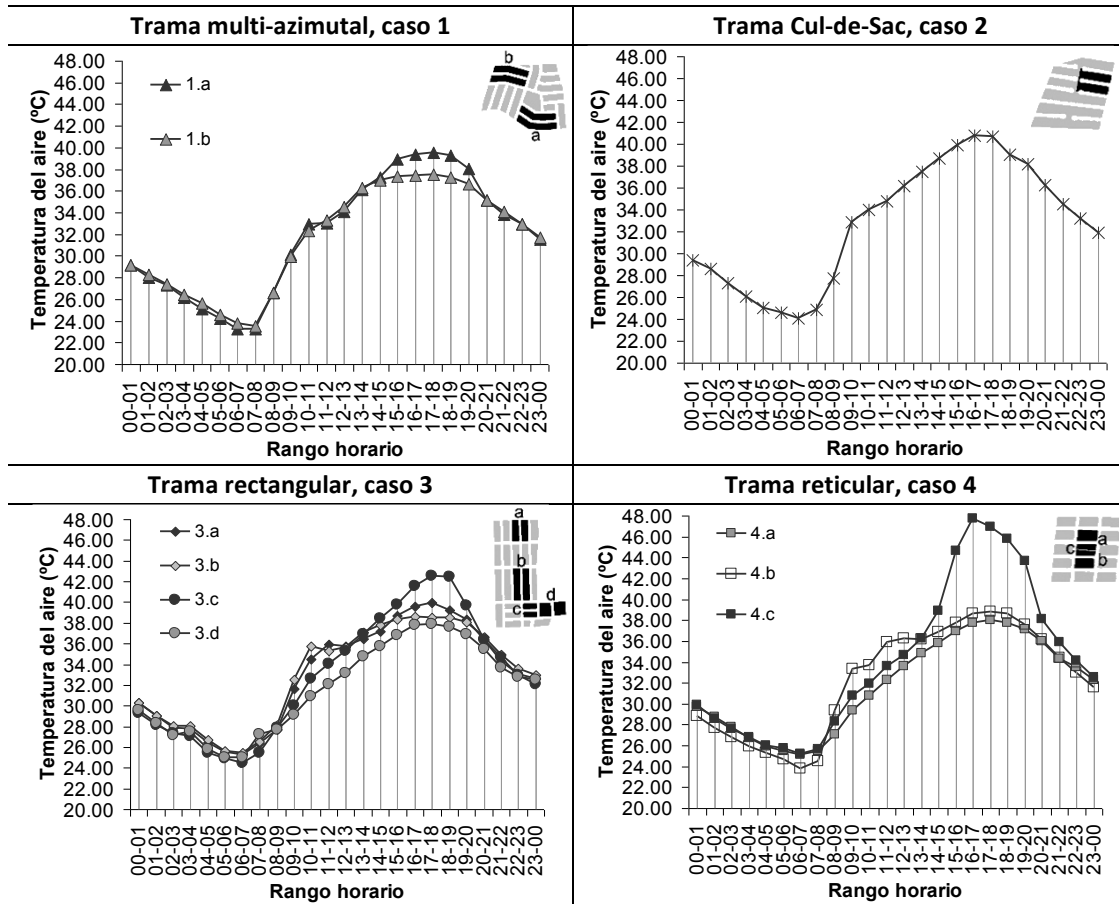
La tabla 4 muestra el comportamiento de cada caso durante el día típico seleccionado (15/01/2014). Este día se reconoce como típico ya que su condición térmica es representativa del 74% de los 32 días monitoreados. Como primera observación se pone de manifiesto que la configuración más cálida es la correspondiente al CVU compacto-sin forestación (caso 4.c). Y que la configuración que mantiene su temperatura más fresca es la correspondiente al caso de trama multi-azimutal, abierta-forestada (caso 1.b). Es decir que, *a priori*, las tramas insertas en esquemas urbanos abiertos-forestados se mantienen más frescas tanto durante el periodo de calentamiento como en el de enfriamiento, en comparación al caso de esquema compacto-sin forestación.

a. Trama multi-azimutal, caso 1

En este tipo de trama se monitorearon 2 CVU (1.a y 1.b), el caso 1.a es 2°C más cálido (39.5 vs. 37.5°C) en comparación al caso 1.b, durante el periodo de 3 a 8 p.m. Situación que se puede explicar debido a que en el caso más cálido (1.a) el ángulo azimutal ($Az=272^\circ$) de un segmento de calle permite que la radiación solar de la tarde incida sin bloqueos sobre las superficies. Siendo coincidente con el rango horario donde el valor de la radiación total recibida sobre el plano horizontal es mayor (3.44MJ/m²). Este factor contribuye a sobrecalentar las superficies expuestas. Caso contrario sucede en la calle 1.b, donde su forma se quiebra más sesgada del recorrido solar ($Az=236^\circ$), por lo cual el valor de radiación recibido disminuye a 2.87MJ/m² debido al rango horario donde ingresa la radiación en el canal. Los datos de radiación recibida y coordenadas solares fueron calculados con el programa Geosol v2.0. Durante el periodo de enfriamiento (8 p.m – 8 a.m), la temperatura mínima del aire en ambos esquemas es similar, $\Delta T_{1.b-1.a}^\circ = -0.3^\circ\text{C}$ (1.b=23.5 vs. 1.a=23.3°C). Este comportamiento se debe a que las posibilidades de enfriamiento de tipo radiativo y convectivo, en ambos esquemas, son similares $SVF_{1.a}=0.69$ y $SVF_{1.b}=0.60$. La temperatura promedio en ambos casos es semejante $\Delta T_{1.b-1.a}^\circ = -0.3^\circ\text{C}$, no

así la amplitud térmica donde el $\Delta T^{\circ}_{1.b-1.a} = -2.3^{\circ}\text{C}$, siendo el caso más cálido (1.a), el que posee mayor oscilación entre temperatura máxima y mínima.

Tabla 4. Comportamiento térmico de cada caso del día 15/01/2014.



b. Trama discontinua, caso 2

En este barrio se monitoreó un CVU, el comportamiento de este caso muestra que es una de las configuraciones más cálidas, alcanzando una máxima de 40.8°C durante el periodo de 5 a 6 p.m. La temperatura mínima registrada es de 24.1°C y tiene ocurrencia en el rango entre las 6 y 7 a.m. La amplitud térmica es de 16.7°C, la cual estaría vinculada al valor de SVF= 0.57, de manera tal que en el CVU las posibilidades de enfriamiento radiativo y convectivo durante la noche son posibles.

c. Trama rectangular, caso 3

En este tipo de trama se monitorearon 4 CVUs (3.a, 3.b, 3.c y 3.d), en estos casos se observa que el caso 3.c de orientación E-O registra la temperatura máxima más elevada (42.6°C), en el rango entre las 5 a 7 p.m. Sin embargo, es el caso que menor temperatura mínima tiene (24.5°C), en el rango entre las 6 y 7 a.m. En este caso se ve como la radiación solar que ingresa durante el día (aumento de la T° máxima) es liberada durante la noche por intercambios radiativos y convectivos (SVF= 0.61). Los valores de temperatura máxima (37.9°C) y promedio (31.7°C) más frescos son los del caso 3.d. Donde la orientación es N-S y el SVF es igual a 0.46. Es decir, la combinación de edificación, forestación y orientación colaboran a sombrear por un periodo más prolongado las superficies horizontales expuestas, evitando así que se sobrecalienten, disminuyendo las temperaturas medias radiantes. Los casos 3.b y 3.a (orientados N-S) se encuentran entre los extremos, con SVF iguales a 0.35 y 0.27 respectivamente. Donde, el caso 3.a tiene una mayor temperatura máxima (40.0°C) en comparación

con el caso 3.b (38.6°C). En cuanto a sus temperaturas mínimas, los valores registrados no muestran grandes diferencias, $\Delta T^{\circ}_{3.b-3.a} = 0.1^{\circ}\text{C}$. En estos casos se observa como el bloqueo de la visión de cielo afecta a los intercambios radiativos y convectivos nocturnos, ver temperaturas mínimas del caso 3.c (24.5°C, SVF= 0.61) versus casos 3.b (25.4°C, SVF= 0.35) y 3.a (25.3°C, SVF= 0.27).








d. Trama reticular, caso 4

Por último, en este tipo de trama donde existen ambos esquemas urbanos (abierto-forestado y compacto-sin forestación); se observa que el valor máximo de temperatura en el esquema compacto (4.c) alcanza los 47.7°C, siendo 9.7°C más elevado que el esquema forestado más fresco (4.a) en esta trama, que alcanza los 38.0°C. Esta diferencia se debe, entre otras razones, al sobrecalentamiento de las superficies expuestas por la falta de elementos de sombreado, como son los forestales. Provocando que la temperatura media radiante aumente, tanto por la exposición directa a la radiación como por la falta de enfriamiento de tipo evaporativo, que generan los árboles en el caso forestado. Durante el periodo de enfriamiento, las temperaturas mínimas de los casos forestados (4.a y 4.b) varían 1.3°C, $T^{\circ}\text{mín.} = 25.1$ y 23.8°C respectivamente. El caso 4.b con SVF= 0.50 permite que las superficies se enfríen más durante la noche; a diferencia del caso 4.a donde SVF= 0.16. En este mismo periodo (enfriamiento), el caso 4.c registra la mayor temperatura mínima igual a 25.2°C a pesar de tener un SVF= 0.74. Los valores de temperatura promedio entre el caso forestado más fresco (4.a) y el más cálido (4.c) varían 2.3°C, siendo más fresco el esquema oasis (promedio 31.8°C) que el esquema compacto (promedio 34.1°C).

2. Comparación de los CVU más frescos y más cálidos dentro y entre cada trama

En esta etapa se diferenciaron y agruparon a los CVU de cada barrio según su comportamiento térmico dentro de 2 grupos: cálidos (1.a, 2, 3.c, 4.c) y frescos (1.b, 3.d, 4.a). El caso 2, único caso monitoreado de trama Cul-de-Sac, se incorpora en el grupo de los cálidos debido a que su comportamiento responde a las características y valores de este grupo. En la tabla 5 se indica el CVU monitoreado de cada uno de los casos como así también el grupo al cual pertenecen. Así mismo, se indica la diferencia térmica (ΔT°) entre el CVU más fresco (1.b) con los demás casos.

Tabla 5. Constrastación entre grupo de casos frescos y cálidos, y su diferencia entre los valores de temperatura máxima, mínima y promedio con el caso más fresco 1.b.

| Casos | Frescos | | | Cálidos | | | |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1.b Multi-azimutal | 3.d Rectangular | 4.a Reticular | 1.a Multi-azimutal | 2 Cul-de-Sac | 3.c Rectangular | 4.c Reticular |
| Trama |  |  |  |  |  |  |  |
| ΔT° Max. 1.b | - | +0.4 | +0.5 | +2.0 | +3.3 | +5.1 | +10.2 |
| ΔT° Min. 1.b | - | +1.5 | +1.6 | -0.3 | +0.6 | +1.0 | +1.7 |
| ΔT° Prom. 1.b | - | +0.1 | +0.2 | +0.3 | +1.2 | +1.3 | +2.5 |

Ahora bien, si evaluamos comparativamente los descriptores e indicadores utilizados para caracterizar los CVU, entre el caso más fresco 1.b y el más cálido 4.c, se observa que la temperatura del aire es menor cuando la morfología urbana es de tipo abierta (1.b, 3.d, 4.a, 1.a, 2, 3.c), con mayor ancho y largo de calle, menor H/W y azimut (orientación del CVU) cercana al eje N-S. Es decir que la

combinación de CVUs abiertos (edificaciones bajas y separadas) con mucha masa de acumulación de los materiales de las edificaciones, contribuye a aumentar la inercia térmica. Este mecanismo permite acumular calor que será liberado por radiación y convección durante la noche, evitando así que se sobrecaliente la temperatura del aire durante el día.

La existencia de forestación es otro descriptor que contribuye a mantener más fresca la temperatura del aire, tanto por el efecto de sombra, evitando que se sobrecalienten durante el día las superficies expuestas, como por el proceso de evapotranspiración.

Por último, en cuanto a los porcentajes y tipos de coberturas se muestra que a menores áreas de suelo selladas y mayores áreas de suelo permeables la temperatura del aire es menor, grupo de casos con LCZ 6_b. Es decir que las superficies ajardinadas contribuyen a mantener la temperatura del aire más fresca. Por otro lado dentro de esta categoría, el aumento de la rugosidad se verifica como beneficioso para disminuir la temperatura del aire. Esto puede resultar confuso, ya que en general el aumento de la rugosidad en las ciudades es perjudicial para los intercambios de tipo convectivo, sin embargo en la ciudad de Mendoza, el aumento de rugosidad está asociado a una mayor intensidad de forestación cuyo efecto es positivo en términos de control solar e hidratación atmosférica.

Discusión

El trabajo diagnóstico permitió identificar que los barrios insertos en el esquema abierto-forestado (LCZ 6_b) tienen las temperaturas del aire más frescas en comparación al caso compacto-sin forestación (LCZ 3) durante el periodo de verano; y que la forma de trama denominada como multi-azimutal es la más fresca.

En Mendoza —ciudad de clima árido— para que las nuevas urbanizaciones de baja densidad posean canales viales anchos y forestados y existan áreas verdes, es necesario aumentar la superficie de suelo urbano. Este crecimiento va sellando de manera progresiva las escasas áreas irrigadas (zonas oasis) o de infiltración (zonas de pedemonte); produciendo que la delimitación entre el paisaje construido y el paisaje natural sea poco clara, lo que se traduce en una disminución de las superficies aptas para suelo agrícola. Por otro lado, las ciudades de esquemas compactos son más eficientes en términos de uso de suelo y redes de infraestructura (energía, agua, transporte) lo que se traduce en una reducción de la energía per cápita asociada a la construcción y mantenimiento (Steemers, 2003).

Pero, para la ciudad en estudio, el modelo compacto-sin forestación monitoreado representa a la configuración que imposibilitaría generar un bioclimatismo urbano. Ya que se mantiene siempre más cálido, desmejorando tanto las condiciones de habitabilidad exterior $\Delta T^{\circ}\text{máxima} +10.2^{\circ}\text{C}$, las posibilidades de enfriamiento $\Delta T^{\circ}\text{mínima} +1.7^{\circ}\text{C}$ —estrategia para mitigar la ICU— y aumenta el consumo de energía eléctrica para climatizar el interior de viviendas ΔT° promedio $+2.5^{\circ}\text{C}$.

Este trabajo busca promover a avanzar en el conocimiento de esquemas urbanos óptimos, que resulten energética y ambientalmente eficientes para asegurar el desarrollo urbano sustentable de ciudades de zonas áridas. Donde como fin, estos lineamientos, recomendaciones o consideraciones, puedan ser incorporados en los códigos de edificación urbanos permitiendo a proyectistas y planificadores seleccionar las alternativas morfológicas óptimas en los aspectos antes descriptos para este tipo de ciudades.

Bibliografía

- Alchapar, N. & Correa, E. (2015). Comparison the performance of different facade materials for reducing building cooling needs. Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs, Woodhead Publishing. Cambridge, pp.155-194. ISBN :9781782423805.
- Al-Homoud, M.S. (1998). Variable-Base heating and cooling degree day data for 24 saudi arabian cities. ASHRAE transactions, 104(2), 320-330.
- Correa, E. N.; Pattini, A.; Córica, M. L.; Fornés, M.; Lesino, G. (2006). Software: PIXEL DE CIELO. Programa informático que calcula el factor de visión de cielo a partir del procesamiento de una imagen digital hemisférica. Número de registro CONICET: 07304
- Correa, E., de Rosa, C. & Lesino, G. (2008). Urban heat island effect on heating and cooling degree day's distribution in Mendoza's metropolitan area. Environmental costs, in: Sociedade Portuguesa de energia solar (SPES) (Ed.), Proceedings of the EUROSUN 2008. Curran associates, Inc. Red Hook, NY, USA, 2, 951-958.
- Correa, E., Ruiz, M.A. & Cantón M. A. (2010). Urban forest structure and thermal comfort in "oasis cities" of arid zones. Ambiente construído, Porto Alegre, 10, 4, 119-137.
- Ente Provincial de Regulación Eléctrica, EPRE (2014). Informe técnico de evolución de la demanda de enero de 2014.
- Givoni, B. (1989). Urban design in different climates. World meteorological organization, WMO/TD, 346.
- GEOSOL (versión 2.0) software (2002): Dpto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta. Obtenido de: <http://www.unsa.edu.ar/~alejo/geosol/>.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INDEC (2010). Censo nacional de población, hogares y viviendas. Argentina. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
- Lin, T. P., Matzarakis, A. & Hwand, R. L. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. Building and Environment, 45, 213-211.
- Marshall S. (2005). Streets and Patterns. Spon Press: London and New York. ISBN 0415317509.
- MultiSpec© (versión 9) software (2011): School of Electrical and Computer Engineering Purdue University. Obtenido de: <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>
- Odum, H. T. & Odum, E. C. (1980). Energy basis for man on nature. Mc Graw Hill inc. New York. ISBN 0070475113, 9780070475113.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal Royal Meteorological Society 108, 45, 1-24.
- Oke, T. R. (2004). IOM Report No. 81, WMO/TD No. 1250: Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. WMO, Geneva.
- Ruiz, M. A., Sosa, M. B, Correa E. & Cantón M. A. (2015). Suitable configurations for forested urban canyons to mitigate the UHI in the city of Mendoza, Argentina. Urban Climate.
- Shashua-Bar, L. & Hoffman, M. E. (2003). Geometry and Orientation Aspects in Passive Cooling of Canyon Streets with Trees. Energy and Buildings 35, p. 61-68.

- Stemers, K. (2003). Energy and the City: Density, Buildings and Transport. *Energy and Buildings* 35, 3-14.
- Stewart, I. D. & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *B. Am. Meteorol. Soc.* 92, 1879-1900.
- Stocco S., Cantón M. A. & Correa E. (2013). Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable*, 3, 2, 19-34.
- Wolman, A. (1965). The metabolism of cities. *Sci. Am.*, 213, 156-174.

Autores

María Belén Sosa. Arquitecta, Magíster en Arquitectura Sostenible y Eficiencia Energética, becaria doctoral de CONICET.

Erica Correa Cantaloube. Ingeniera Química, Doctora en Ciencias - Área Energías Renovables, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en UTN-FRM.

María Alicia Cantón. Arquitecta, DEA en Arquitectura, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en FAUD-Universidad de Mendoza.

03. Paisajes sustentables

Diseño eficiente de parques en ciudades de zonas áridas. Confort térmico y clima urbano

M. Angélica Ruiz¹, Erica N. Correa¹, M. Alicia Cantón¹

Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del diseño de cuatro parques sobre las condiciones de habitabilidad de los mismos y el clima urbano del Área Metropolitana de Mendoza. El estudio se ha llevado a cabo durante el verano 2011 mediante monitoreo continuo de variables microclimáticas en distintos sectores de cada parque y en puntos estratégicos de la ciudad. Para evaluar el confort térmico se ha utilizado el modelo COMFA. Los resultados indican que el comportamiento térmico y el grado de confort son claramente impulsados por la configuración de cada parque en relación a su tamaño, localización dentro de la trama, proporción y características de áreas selladas y vegetadas. A escala urbana, los resultados reflejan el efecto beneficioso de los parques en el enfriamiento nocturno. Estos efectos son de suma importancia dada la alta vulnerabilidad ambiental que presentan las ciudades situadas en zonas áridas.

Palabras clave: parques urbanos, confort térmico, clima urbano, zonas áridas.

Efficient Design of Parks in Cities in Arid Zones. Thermal Comfort and Urban Climate

Abstract

The aim of this study is to assess the effect of the design of four parks on their habitability conditions and on the urban climate of Mendoza Metropolitan Area. The study was conducted in summer 2011 through continuous monitoring of microclimatic variables in different areas of each park and at strategic points in the city. COMFA model was used to evaluate the thermal comfort. The results indicate that the thermal behavior and the comfort degree are clearly driven by the configuration of each park in relation to its size, its location within the urban pattern, and by the proportion and characteristics of impervious and vegetated areas. At the urban scale, the results reflect the beneficial effect of parks on nighttime cooling. These effects are important given the high environmental vulnerability of the cities located in arid zones areas.

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) – CCT-CONICET Mendoza. Av. Ruiz Leal s/n, Parque Gral. San Martín, Mendoza (5500) - Argentina. Tel. +54-261-5244345. e-mail: aruiz@mendoza-conicet.gob.ar

Keywords: urban parks, thermal comfort, urban climate, arid zones.

Introducción

El crecimiento de las ciudades y la intensificación de la densidad edilicia han provocado un ambiente urbano de desconfort, debido a la modificación del balance de energía que influye en el ambiente térmico en espacios abiertos. El aumento de la temperatura urbana tiene un efecto directo sobre el consumo de energía, las condiciones de confort térmico y la contaminación ambiental en los espacios urbanos (Akbari et al., 1992).

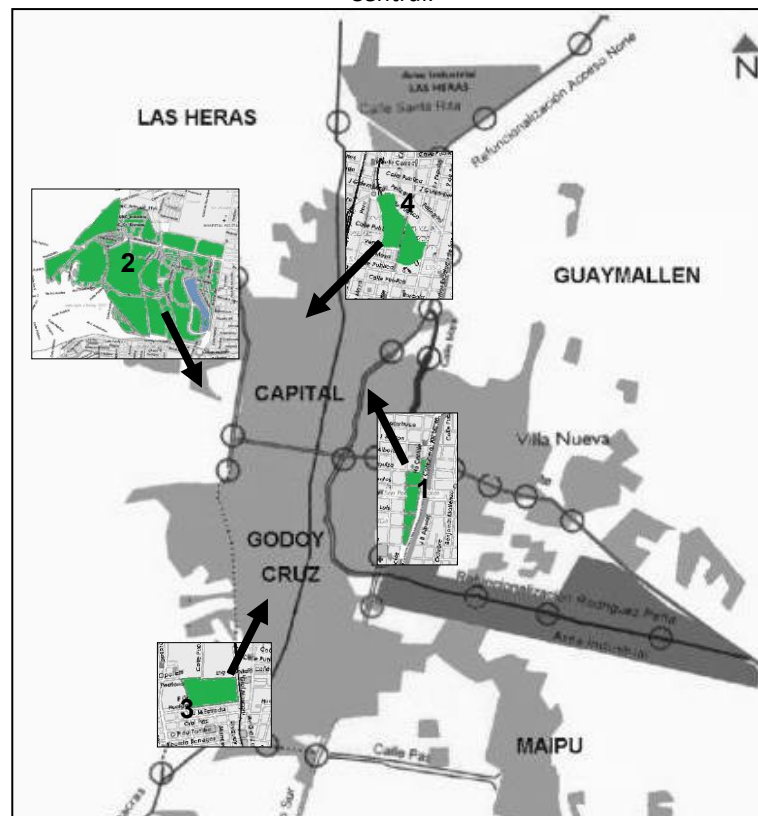
Diversas estrategias de mitigación de este efecto han sido estudiadas para determinar su eficacia relativa y la eficiencia de costos (Rosenfeld et al., 1998). Una de las estrategias básicas incluye el aumento de la cubierta vegetal. Es bien sabido y documentado que los árboles y espacios verdes contribuyen significativamente al enfriamiento de nuestras ciudades y al ahorro de energía (Santamouris, 2001). Los árboles pueden proporcionar una protección solar durante el verano, mientras que por otra parte, la evapotranspiración puede reducir la temperatura urbana. Al mismo tiempo, los árboles absorben el sonido y bloquean la erosión que causan las lluvias, filtran contaminantes peligrosos, reducen la velocidad del viento y evitan la erosión eólica.

En este sentido, la presencia o ausencia de espacios verdes y las características diferenciales de los mismos están vinculadas con la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. Por esta razón es importante evaluar cómo los espacios verdes de una ciudad pueden ser planificados espacialmente, y luego cómo podrían ser mejor diseñados, gestionados y mantenidos en función de las características urbanas, climáticas y morfológicas para obtener el máximo beneficio para la población local. Asimismo, el confort térmico de las personas en espacios abiertos es uno de los factores que más influye en la habitabilidad de los espacios, dado que la cantidad e intensidad de actividades que el individuo realiza es afectada por el nivel de desconfort experimentado cuando se expone a las condiciones climáticas de esos espacios abiertos (Givoni et al., 2003).

En particular, el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) está situada en una zona árida, con amplias fluctuaciones de temperatura diarias y estacionales, intensa radiación solar en todas las estaciones y un régimen de baja precipitación anual (250 mm). Los vientos locales son de tipo anabáticos-catabáticos con una velocidad promedio de 2 m/s y de dirección NE y SO. El 65% de la población total de la provincia ocupa sólo el 3% de su territorio, con un crecimiento demográfico del 10% durante la última década (INDEC, 2010). Esta importante tasa de crecimiento ha llevado a una expansión prácticamente sin control de la zona urbana, modificando el perfil de la ciudad en sus dimensiones horizontales y verticales. Todas estas condiciones han contribuido a la formación de una isla de calor que alcanza valores de 8 y 9 °C, tanto en verano como invierno, durante la noche y las primeras horas de la mañana, dependiendo de su posición en relación con la dirección de las brisas predominantes, la densidad de construcción, altura, bosques, etc. (Correa et al., 2006).

El AMM presenta una trama urbana de estructura consolidada, donde se insertan vacíos urbanos (Figura 1). La mayor proporción de cañones urbanos tienen entre 20 y 16 m de ancho, los materiales de construcción típicos son el hormigón y el ladrillo. La zona céntrica de la ciudad se caracteriza por las mayores densidades de construcción, con edificios de gran altura (hasta 19 pisos). También cuenta con las estructuras arbóreas más altas y más densas, y el tráfico vehicular más intenso de toda el área metropolitana.

Figura 1. Ubicación de los parques evaluados en el AMM: (1) O'Higgins; (2) San Martín; (3) San Vicente; (4) Central.



Fuente: Figura realizada por el autor.

La configuración de la ciudad es el resultado de un modelo de desarrollo donde el entorno artificial y el natural conforman un mosaico entremezclado, dando lugar a una fuerte inserción de espacios verdes en la ciudad. En este contexto los espacios abiertos -parques, plazas y bosques urbanos- modifican de forma significativa el patrón climático del entorno construido, pero sus beneficios y desventajas aún no se han analizado a fondo en la provincia (Endlicher & Mikkan, 1999).

Por todo lo expuesto, el objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento higrotérmico de cuatro espacios verdes durante la temporada de verano y cuantificar el impacto del diseño de los parques sobre el confort térmico y las características climáticas de la ciudad de Mendoza. A partir de este análisis y diagnóstico, es posible desarrollar una planificación estratégica de los espacios verdes con el fin de mitigar los efectos de la existencia de la ciudad sobre el clima de la región.





Metodología

Casos de estudio

Para evaluar el impacto de los parques en el perfil de temperatura del AMM, se seleccionaron cuatro parques, teniendo en cuenta su posición en relación con el centro de la ciudad y las estructuras paisajísticas de cada uno.

Las características generales de los cuatro parques evaluados se representan en la Figura 2. El parque O'Higgins ha sido designado POH, el parque San Martín se ha denominado PSM, el parque San Vicente, PSV y el parque Central se ha señalado como PCE.

Figura 2. Descripción general de los parques evaluados.

| | PCE | POH | PSM | PSV |
|---|---|---|---|---|
| |  |  |  |  |
| Configuración urbana / Contexto de mediación | Conjuntos de torres de perímetro libre con espacios parquizados, conformando una trama de alta densidad edilicia. | Baja densidad edilicia. Alto nivel de tránsito. | Al Este, estructuras de baja y media densidad edilicia. Al Oeste, nuevas urbanizaciones. | Baja densidad edilicia. Importantes espacios abiertos (estacionamiento). |
| Inauguración | Principios del s. XXI | Principios del s. XX | Principios del s. XIX | Década de 1990 |
| Superficie (ha) | 14 | 9 | 358 | 18 |
| Altitud (msnm) | 770 | 741 | 821 | 833 |
| Diseño del paisaje | Lenguaje arquitectónico racionalista. Amplio uso de piedra y hormigón. | Eje central definido por una estructura verde abovedada. | Tipo orgánico, que armoniza las tradiciones inglesa y francesa. | No planificado. |
| Forestación | Aún no está consolidado. Cuenta con 1200 árboles, en su gran mayoría, individuos muy jóvenes. | Los árboles alcanzan su máxima expresión vegetativa. | Integrado por 50000 individuos en su mayoría adultos, distribuidos en más de 300 especies exóticas. Recientemente enriquecido con especies nativas. | No se encuentra consolidado. Individuos arbóreos jóvenes. |

Fuente: Figura realizada por el autor.

Campañas de monitoreo

Con el propósito de monitorear el comportamiento térmico de los diferentes parques de la ciudad y el impacto de los espacios verdes en el confort térmico, se llevaron a cabo dos campañas. En primer lugar, durante los meses de febrero y marzo de 2011, se instalaron 29 estaciones fijas de medición automática en cada parque —ubicadas en tres tipos de conformación de los espacios verdes: prados, bosques y sector antrópico— y sus alrededores. Además, se colocaron instrumentos de referencia para controlar el impacto de los parques en las afueras de la zona metropolitana, en los cuatro puntos cardinales. Estas estaciones fijas miden temperatura y humedad cada 15 minutos. Las estaciones instaladas son del tipo: H08-003-02, con dos canales registradores de temperatura interna y humedad relativa. Los sensores se han colocado a una altura de 2,5 m de la calle (Oke, 2004), dentro de cajas blancas de PVC perforado, para evitar la irradiación y asegurar la circulación adecuada de aire.

En segundo lugar, para el seguimiento y comparación de los impactos de las diferentes conformaciones verdes, se ha realizado otra campaña durante los días 02/02/11, 07/02/11, 15/02/11

y 16/02/11 con estaciones meteorológicas móviles en dos tipos de conformación de los espacios verdes presentes en los parques evaluados: prados y bosques. Las estaciones móviles miden temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento, también cada 15 minutos. Durante esta campaña, también se han registrado los valores de temperatura superficial con un termómetro infrarrojo OMEGASCOPE tipo OS-XL.

Los datos han sido evaluados estadísticamente para el periodo comprendido entre las 11.00 am y las 7.00 pm, considerado como el de mayor rigurosidad climática y uso del espacio abierto.

Índices de confort

Los índices de confort analizan variables climáticas y permiten cuantificar los rangos de confort para diferentes espacios o situaciones (Gomez et al., 2004). Los primeros índices bioclimáticos que surgieron consideran sólo algunos parámetros meteorológicos (Thom, 1959; Clarke & Bach, 1971; Unger, 1999).

Los modelos más recientes, basados en la ecuación del balance humano de energía, incorporan gran cantidad de variables no solo de índole climática, sino aquellas relacionadas con las características del individuo y del entorno. En este sentido, el método COMFA (Brown & Gillespie, 1995) expresa el balance de energía de una persona en un ambiente abierto. Según investigaciones previas (Ruiz & Correa, 2015), el modelo COMFA permite evaluar con gran precisión la incidencia de las interrelaciones entre la variables climáticas, morfológicas y forestales sobre los intercambios del cuerpo humano en espacios abiertos. De este modo es posible detectar los mecanismos de transferencia energética sobre los cuales las características de diseño de los espacios tienen mayor impacto y de este modo optimizar su funcionamiento, con el objeto de maximizar el grado de habitabilidad de los espacios.

Cuando el balance S es cercano a cero, puede esperarse que una persona se sienta térmicamente confortable. Si el balance presenta un gran valor positivo, la persona recibe más energía que la que pierde, por lo que podría haber sobrecalentamiento y estaría en disconfort por calor. Por otra parte, si el balance es negativo, la persona podría sentir frío. La Tabla 1 muestra la sensación de confort humano relacionado con los valores del balance energético.

Tabla 1: La sensación de confort humano relacionado con los valores del balance S .

| Balance ($W m^{-2}$) | Sensación |
|--|--|
| $S > -150$ | La gente preferiría estar mucho más cálida |
| $-150 > S > -50$ | La gente preferiría estar más cálida |
| $-50 > S > 50$ | La gente preferiría no cambiar de estado |
| $50 > S > 150$ | La gente preferiría estar más fresca |
| $150 < S$ | La gente preferiría estar mucho más fresca |

Fuente: Brown & Gillespie (1995).

El factor de visión del cielo (SVF) de cañones urbanos fue calculado a partir de imágenes digitales hemisféricas, tomadas con una cámara digital Nikon CoolPix equipada con un lente ojo de pez y procesadas mediante el software PIXEL DE CIELO desarrollado por nuestra unidad (Correa et al., 2005), el cual permite obtener el valor del parámetro (SVF), en condiciones de cielo despejado, forestación urbana intensa y ciudades con alta reflectividad típica en regiones semiáridas como es el caso de este estudio (Figura 3).

Figura 3: Imágenes hemisféricas de cada caso de estudio.

| | | | | |
|---------|------------|---------|-----------|-------------|
| Bosques | | | | |
| | | | | |
| Prados | | | | |
| | | | | |
| | San Martín | Central | O'Higgins | San Vicente |

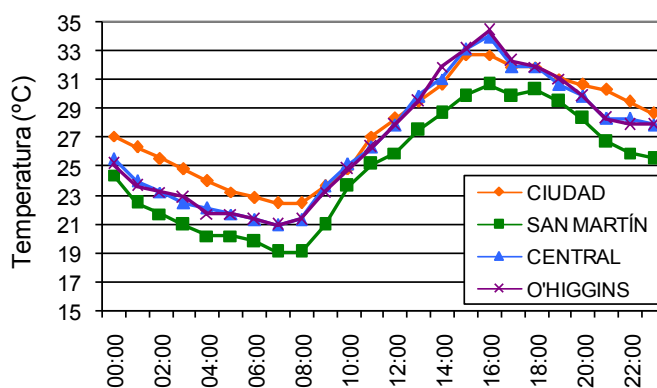
Fuente: Figura realizada por el autor.

Resultados

Análisis de los espacios verdes y sus alrededores

Con el fin de evaluar el impacto de los espacios verdes en sus alrededores, se analizan los datos obtenidos de las estaciones fijas ubicadas en el sector bosque de los parques y en los cuatro puntos cardinales alrededor de cada uno de ellos. Durante el período de enfriamiento, todos los parques evaluados son más frescos que el centro de la ciudad. Esto coincide con los resultados de investigaciones anteriores realizadas en el mismo área de estudio (Correa et al., 2006). Durante el período de calentamiento, en general, no hay gran diferencia entre los parques y el centro de la ciudad, llegando a ser más fresca la ciudad a la hora de máxima temperatura, una excepción a este hecho es el parque San Martín que es más fresco que el centro de la ciudad durante todo el período evaluado (Figura 4).

Figura 4: Distribución diaria de la temperatura en tres parques evaluados y en el centro de la ciudad, en un día típico de verano (nubosidad < 3/8 y velocidad del viento < 1km/h).



Fuente: Figura realizada por el autor.

Este comportamiento durante el período de calentamiento puede ser explicado como resultado del denso bosque urbano presente en el área metropolitana, conformado principalmente por especies arbóreas de primera magnitud, cuya superposición de copas conforman un túnel denso que bloquea la radiación solar intensa típica de climas áridos y, como consecuencia de ello, durante este período, la ciudad puede ser más fría que sus alrededores, que constituyen un gran factor de visión del cielo. Esta climatización deriva del concepto de ciudad oasis, que ha sido predominante en la concepción urbana de la ciudad.

Por otro lado, el comportamiento del parque San Martín durante el calentamiento se puede explicar por el efecto conjunto de diferentes factores, entre ellos se puede mencionar: la mayor extensión y una altitud considerable. Como en estudios previos, el análisis de los perfiles de la humedad específica no muestra un comportamiento diferencial de los registros de humedad en este parque, en comparación con los otros dos (Tabla 3).

Tabla 3: Humedad específica media, máxima y mínima de cada parque analizado.

| Humedad específica | PARQUES | | |
|---------------------------|-------------------|----------------|------------------|
| | San Martín | Central | O'Higgins |
| <i>Media</i> | 7,94 | 6,76 | 8,30 |
| <i>Máxima</i> | 27,98 | 34,05 | 34,59 |
| <i>Mínima</i> | 1,41 | 1,56 | 1,62 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

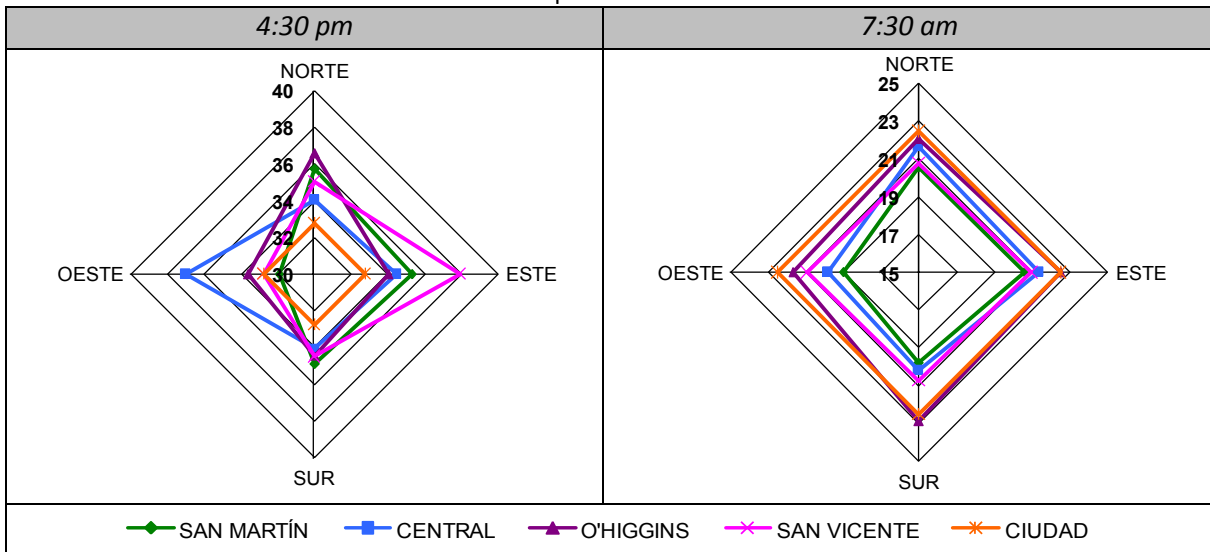
Durante el período de enfriamiento, el Parque San Martín es el que registra las diferencias de temperatura máxima en relación con el centro de la ciudad, llegando a valores de -4°C , mientras que los parques Central y O'Higgins presentan diferencias máximas de alrededor de -3°C . Durante el período de calentamiento, la máxima diferencia de temperatura del Parque San Martín es de -3°C , mientras que los parques Central y O'Higgins presentan diferencias máximas de 1.7°C y 2.1°C , respectivamente.

En la Figura 5 se muestran las temperaturas de las referencias en los puntos cardinales de cada parque a la hora de máxima y de mínima temperatura en el centro de la ciudad (16:30 hs y 7:30 hs, respectivamente). A partir de los perfiles obtenidos, es posible analizar el impacto de la distribución espacial de los parques estudiados, es decir, el efecto de su lugar en el comportamiento térmico del sector urbano en el que se encuentran.

En primer lugar, se puede observar que el impacto de los parques durante la noche, los parques se encuentran más frescos que el centro de la ciudad en una proporción que resulta un 17% para el parque San Martín, un 9% para el parque Central y un 7% para el parque O'Higgins, con respecto al centro de la ciudad. Con respecto a los alrededores, este efecto moderador decae, siendo mínimo para el parque Central, mientras que se encuentra entre 6 y 7% para los otros dos parques.

La diferencia de temperatura entre los alrededores de cada parque y el centro de la ciudad no es apreciable en el caso del parque O'Higgins, esto puede deberse al contexto urbano circundante. Sin embargo, esta diferencia queda manifestada en un 7 y 8% para los parques San Vicente y Central, respectivamente, y sólo en un 11% para el parque San Martín que cuenta con una extensión 20 veces más grande que el parque San Vicente y 25 veces superior al parque Central.

Figura 5: Temperaturas en el centro de la ciudad y en los alrededores de los cuatro parques evaluados, en un día típico de verano.

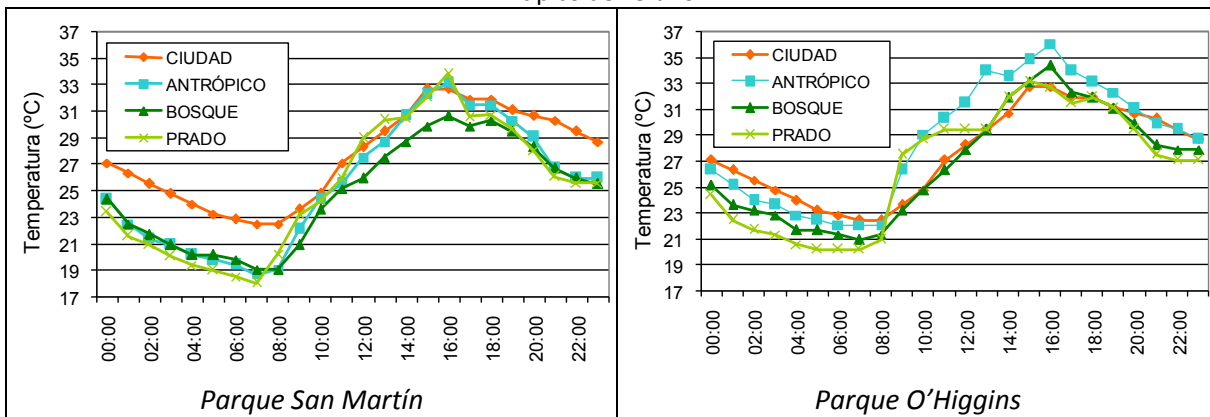


Fuente: Figura realizada por el autor.

Análisis de la configuración de espacios verdes

A partir del análisis de los datos obtenidos de las estaciones fijas en los tres sectores de cada parque, cuyo objetivo era evaluar el impacto de las diferentes configuraciones de zonas verdes en el rendimiento térmico de los espacios urbanos, se puede observar un comportamiento análogo, resultando que el prado es la configuración que más se enfría durante la noche. El bosque es la estructura que muestra el calentamiento menor durante las horas de sol, como es lógico, dada su condición de sombra, pero, durante la noche, dependiendo de su extensión y el diseño del parque en el que se encuentra, esta estructura puede enfriar a la misma temperatura del césped o no.

Figura 6: Distribución diaria de la temperatura en el centro de la ciudad y en cada parque evaluado, en un día típico de verano.

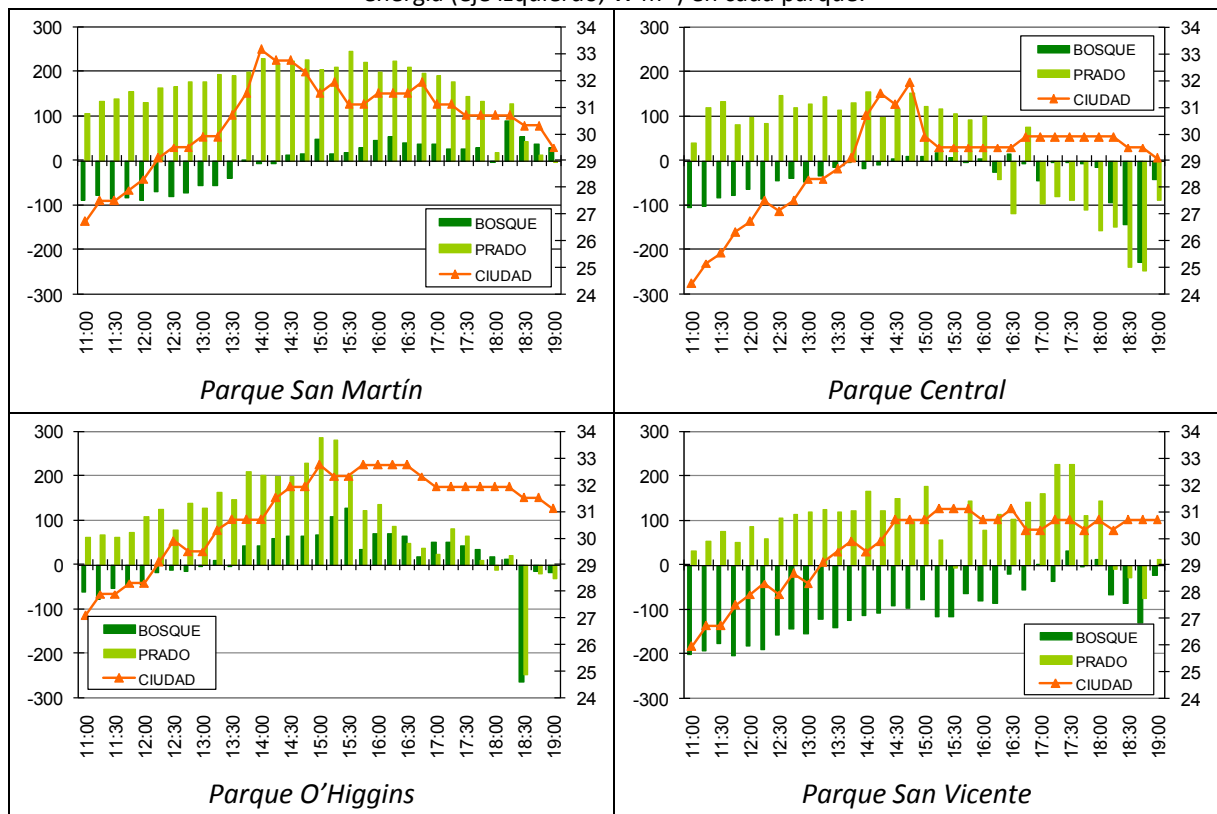


Fuente: Figura realizada por el autor.

En la Figura 6 se muestra la distribución de la temperatura diaria de las tres estructuras consideradas, relacionadas con el comportamiento del centro de la ciudad, en dos de los parques analizados de características bien definidas. La primera corresponde a la gráfica del Parque San Martín, el de mayor extensión que se materializa el límite oeste de la MMA, la segunda muestra el parque O'Higgins, que cuenta con un desarrollo longitudinal y una extensión 40 veces más pequeña y completamente insertado dentro del tejido urbano.

Durante el calentamiento, se observa que, en el caso del parque San Martín, el prado y el sector antrópico presentan el mismo comportamiento, en concordancia con el centro de la ciudad, mientras que el bosque se mantiene con menores temperaturas. En el parque O'Higgins, se puede observar que la configuración de bosque coincide con el centro de la ciudad, el prado presenta un repentino aumento de la temperatura en las mañana y al mediodía se hace similar al bosque. En cambio, el sector antrópico, mantiene la temperatura siempre por encima de los demás sectores.

Figura 7: Distribución diaria de la temperatura (eje derecho, °C) en el centro de la ciudad y del balance de energía (eje izquierdo, $W m^{-2}$) en cada parque.



Fuente: Figura realizada por el autor.

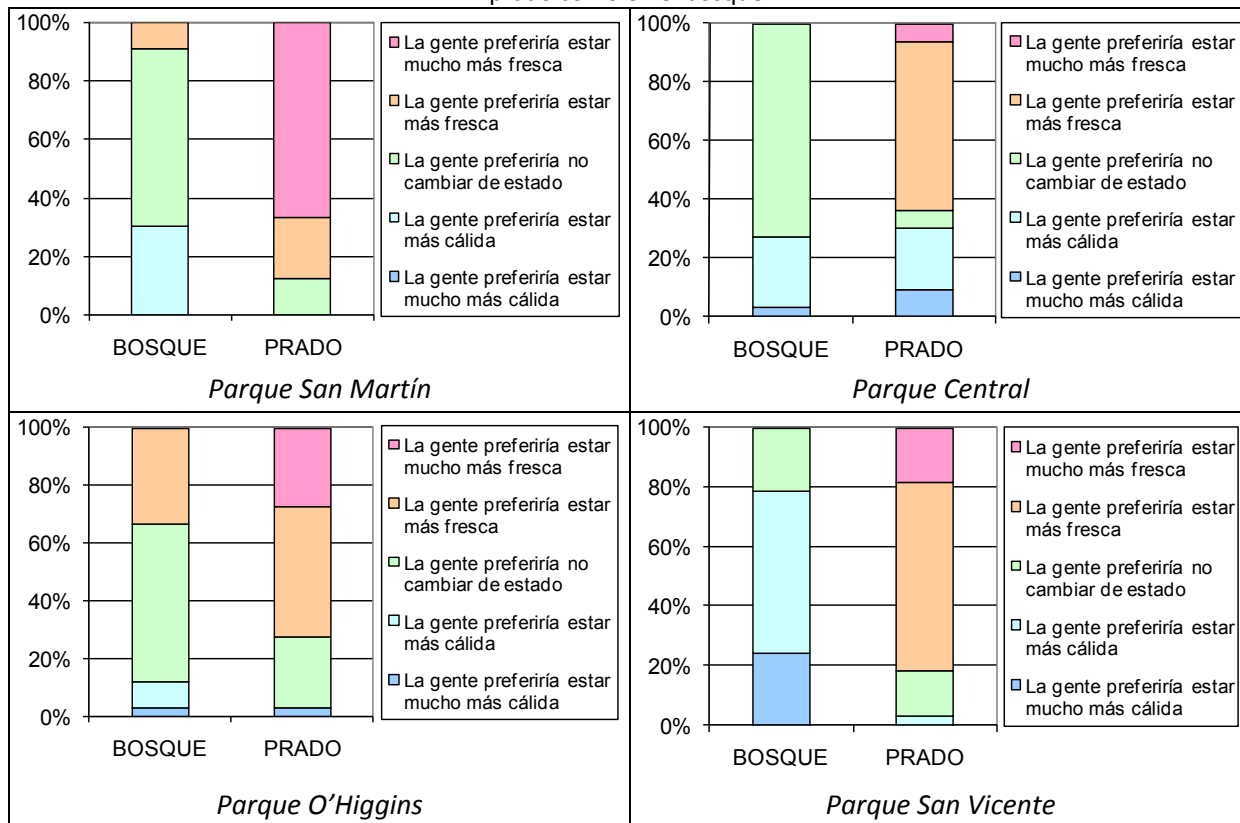
Durante el período de enfriamiento el comportamiento es muy diferente. En el parque San Martín, todas las estructuras convergen hacia el mínimo de enfriamiento y se diferencian del centro de la ciudad. En el caso del parque O'Higgins el enfriamiento que proporcionan las distintas estructuras está bien diferenciado y los perfiles de temperatura decrecen en el siguiente orden: centro de la ciudad, sector antrópico, bosque y, por último, prado. Esto indica que la selección del tipo de estructura verde adquiere mayor importancia cuanto menor es la extensión del parque y mayor es la densidad del tejido del entorno urbano. Además, se observa que el impacto de la zona antropogénica dentro de los parques disminuye cuánto más extenso es el parque. Estos resultados se corresponden con los de investigaciones previas (Correa et al., 2006).

Análisis del confort térmico

A partir del análisis de los datos obtenidos de las estaciones móviles, cuyo objetivo era la evaluación de los niveles de confort térmico experimentados en las configuraciones de prado y bosque en los cuatro parques, se obtienen la Figura 7 y la Figura 8. Específicamente en la Figura 7 se puede observar la temperatura en el centro de la ciudad, y el balance de energía para ambos sectores de

cada parque a lo largo del día evaluado. En líneas generales, los prados presentan balances positivos en la mayor parte del período considerado, variando la magnitud según el parque. En cambio, los sectores de bosque presentan niveles de confort más dispares.

Figura 8: Frecuencia de las condiciones de confort a lo largo del periodo evaluado en cada parque, tanto en el prado como en el bosque.



Fuente: Figura realizada por el autor.

En el caso del prado del parque San Martín, el balance de energía es mayor a 150 W m^{-2} desde las 11:45 hasta las 17:15 hs, lo que significa que las personas preferirían estar mucho más frescas durante más del 65% del período evaluado y sólo un 10% del tiempo la gente se siente en confort. La situación en el sector de bosque resulta mucho más beneficiosa ya que las personas se sienten en confort térmico desde las 13:30 hs (60% del período), incluso, durante las horas de la mañana, el bosque presenta un disconfort moderado por fresco (Figura 8).

La configuración de prado del parque Central entra en disconfort por calor un poco más temprano que el del parque San Martín (11:15 hs), pero sólo un 5% del periodo la gente preferiría estar mucho más fresca, y se adentra en disconfort por fresco a las 16 hs. Esto último puede deberse a que la tarde del 7 de febrero de 2011 fue bastante ventosa y nublada. El bosque presenta un perfil de confort térmico similar al del parque San Martín con un 70% del período evaluado en el cual las personas no preferirían cambiar de estado, a excepción de las últimas horas donde parece haber sido afectado por la presencia de viento (Figura 8).

El prado del parque O'Higgins es el que presenta mayor porcentaje del tiempo en confort con un 25%. El disconfort por calor se percibe como severo desde las 13:45 hasta las 15:30 hs, mientras que el bosque alcanza un disconfort por calor moderado con una hora de retraso. Como ya se ha

mencionado, este parque es el de menor extensión y presenta un contexto urbano con gran intensidad vehicular (Figura 8).

El parque San Vicente presenta las mayores dicotomías entre su prado y su bosque. En el primer caso, las personas preferirían estar más frescas o mucho más frescas durante el 80% del tiempo. En el segundo caso, el balance de energía es menor a -50 W m^{-2} , determinando que la gente prefiera estar más cálida o mucho más cálida durante un 80% también (Figura 8).

Conclusiones

En base al objetivo planteado, los resultados muestran que el comportamiento térmico y el grado de confort térmico son claramente impulsados por la configuración de cada parque y el uso que se le da a cada sector.

Los resultados demuestran el efecto beneficioso de los parques en el enfriamiento nocturno de la trama urbana. Vale la pena señalar que con las actuales condiciones térmicas en la zona estudiada este comportamiento es de particular interés ya que el fenómeno isla de calor alcanza su máxima expresión durante el período de enfriamiento (Correa et al., 2006).

Asimismo, el enfriamiento nocturno es de mayor intensidad en aquellos espacios verdes de mayor extensión, por lo que el diseño del paisaje de los espacios verdes es más importante para los parques de menor dimensión, en los cuales una adecuada proporción y diseño de cada configuración, puede dar resultados similares a los de un parque de gran tamaño.

Por último, en cuanto al confort térmico en cada uno de los parques evaluados, es importante destacar que la configuración de bosque es la que otorga los niveles de confort más frescos, por lo que en parques de menor extensión, los parques pueden verse afectados por los bosques cercanos, en cambio, en el caso de espacios verdes de mayores dimensiones, esto es más difícil de lograr.

Bibliografía

- Akbari, H.; Davis, S.; Dorsano, S.; Huang, J.; Winert, S. (Eds.). (1992). *Cooling our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*. Washington: US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division. Pag. 217.
- Brown, R.D.; Gillespie, T.J. (1995). *Microclimate landscape design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*. New York: Wiley. Pag. xi + 193. ISBN: 0-471-05667-7.
- Clarke, J.F.; Bach, B. (1971). Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. *International Journal of Biometeorology*, vol. 15, pp. 41-54.
- Correa, E., Martínez, C., Lesino, G., de Rosa, C., Cantón, A. (2006). *Impact of Urban Parks on the Climatic Pattern of Mendoza's Metropolitan Area, in Argentina*. PLEA 2006. 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland.
- Correa, E., Pattini, A., Córca, M., Fornés, M., Lesino, G. (2005). Evaluación del factor de visión del cielo a partir del procesamiento digital de imágenes hemisféricas. Influencia de la configuración del cañon urbano en la disponibilidad del recurso solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 9 (número 5), pp. 85-90. Recuperado de: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php>

- Endlicher, W., Mikkan, R. (1999). Concepción y Metodología del proyecto "Mendoclima". *Meridiano*, vol. 7, pp. 11-28.
- Givoni, B., Noguchi, M., Saaroni, H., Pochter, O., Yaacov, Y., Feller, N., Becker, S. (2003). Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, vol. 35 (número 1), pp. 76-86. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00082-8
- Gomez, F., Gil, L., Jabaloyes, J. (2004). Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. *Building and environment*, vol. 39, pp. 1077-1086.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Consultado el 22/07/11. Recuperado de: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
- Oke, T.R. (2004). *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*. Geneva: IOM Report, TD In Press, World Meteorological Organization.
- Rosenfeld, A., Akbari, H., Romm, J., Pomerantz, M. (1998). Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, vol. 28, pp. 51-62. DOI:10.1016/S0378-7788(97)00063-7
- Ruiz, M.A., Correa, E.N. (2015). Suitability of different comfort indices for the prediction of thermal conditions in forested open spaces in arid zone cities. *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 122, pp. 69-83. DOI: 10.1007/s00704-014-1279-8
- Santamouris, M. (2001). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. London: James & James.
- Thom, E.C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, vol. 12 (número 2), pp. 57-60. DOI: 10.1080/00431672.1959.9926960
- Unger, J. (1999). Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a central-European city. *International Journal of Biometeorology*, vol. 43, pp. 139-44.

Autores

M. Angélica Ruiz es Ingeniera Agrónoma, Doctora en Ciencias - Área Energías Renovables e Investigadora Asistente de CONICET. aruiz@mendoza-conicet.gob.ar

Erica N. Correa es Ingeniera Química, Doctora en Ciencias - Área Energías Renovables, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en UTN-FRM. ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

M. Alicia Cantón es Arquitecta, DAE en Arquitectura, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en FAUD-Universidad de Mendoza. macanton@mendoza-conicet.gob.ar

04. Arquitectura Bioclimática y Sustentabilidad

Diseño de vivienda para la ciudad de Córdoba, Argentina - Simulación energética y optimización

Arq. María Pía Mazzocco¹, Dra. Arq. Celina Filippín²

Resumen

El objetivo del trabajo es cuantificar el ahorro energético de una vivienda convencional de 100m² diseñada en un lote típico de una urbanización en la periferia de la ciudad de Córdoba (lat. 31°O, long. 64°S - altura SNM 474m). Para esto, se realiza la simulación energética mediante el programa SIMEDIF. Se proponen mejoras constructivas y de diseño para minimizar el consumo energético, se comparan resultados mediante la etiqueta energética según IRAM 11900 y se evalúa el sobre costo por mejoras y período de amortización. Se concluye que es factible reformular el diseño, logrando reducir la carga necesaria para calefacción un 50% y la de refrigeración a menos de la tercera parte con respecto a la opción convencional. El sobre costo por mejoras propuestas resulta en un 14,5% y el período de recupero de inversión en aislación en paredes resulta en 2,5 años si la energía consumida de calefacción proviene de gas envasado.

Palabras clave: eficiencia energética; simulación energética; SIMEDIF; ahorro energético; Córdoba.

House designed for Córdoba city in Argentina - Energy simulation and optimization

Abstract

The objective of this study is to quantify the energy efficiency of a conventional house of 100m², in a typical outlying district, designed for Córdoba city (31°W, 64°S, 474 metres above sea level). For this, the energy simulation is performed using "SIMEDIF for building's thermal simulation" software. Construction and design improvements are proposed to minimize energy consumption. The results were compared using the energy label according to IRAM 11900 and the cost overrun for the improvements and payback period was evaluated. We conclude that it is feasible to reformulate the design without major modifications to the facade, reducing the load required for heating by 50 % and less than a third in cooling compared to the conventional option. The overrun by the proposed improvements resulting in 14,5% and the recovery period of investment in walls insulation is 2.5 years if the heating energy consumed comes from bottled gas.

¹ Profesional independiente. Córdoba Capital. TE 0351 6509685.

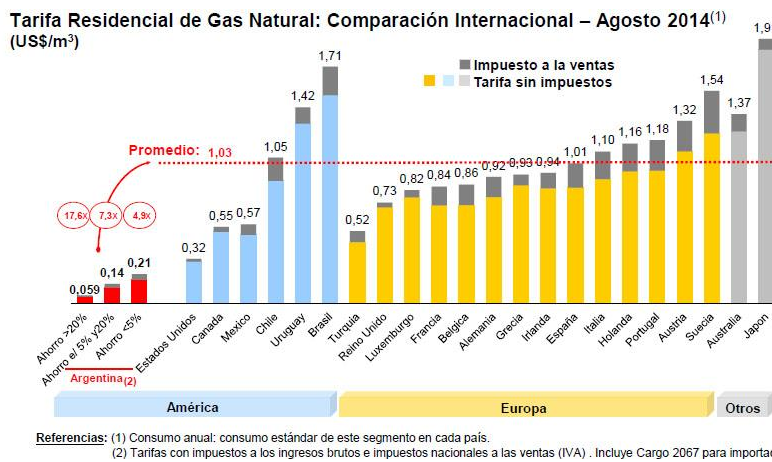
² CONICET, Av Spinetto 785, Santa Rosa, La Pampa, 6300- TE 02954 430910.

Keywords: energy efficiency; energy simulation; SIMEDIF; energy saving; Córdoba.

Introducción

Aunque cada vez se presta más atención a la crisis energética que sufre el planeta, el comportamiento de los habitantes sigue siendo el mismo al de hace varias décadas atrás, y el hecho de no contar con una política energética clara desde el ámbito nacional acrecienta el problema. La construcción en Córdoba se desarrolla desde el sector privado sin planificación territorial municipal. Grandes redes de infraestructura se tienden para abastecer a las nuevas urbanizaciones en las que viven miles de personas que pagan por los servicios, a un bajo costo en relación a otros países (Fig. 1) como es el caso del gas natural, actualmente subsidiado por el Estado.

Fig. 1. Comparación internacional de tarifas de gas natural para el sector residencial. Valores de Agosto 2014.



Fuente: Adigas - <http://www.adigas.com.ar/documentos/pdf/2014AgostoPreciosInternacionales.pdf>

Fig. 2. Origen de producción de energía eléctrica

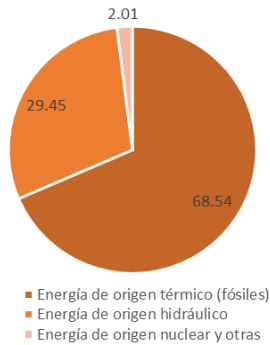
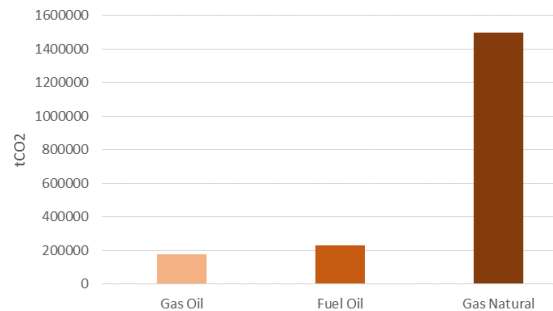


Fig. 3. Emisiones por tipo de combustible



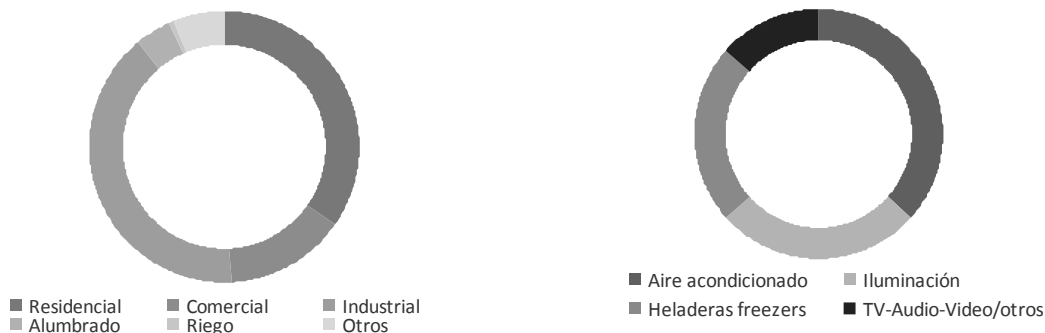
Fuente: Figuras realizadas por el autor en base a datos obtenidos de “Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba” Devalis, S. (Ed. Copiar 2003). Córdoba, Argentina.

Este hecho, sumado al crecimiento de la población y su capacidad de adquisición de equipos de aire acondicionado, ha elevado el consumo energético de manera exponencial en los últimos años. En la provincia de Córdoba el 69% de la producción de energía eléctrica es generada con combustibles fósiles, con el elevado nivel de emisiones de CO₂ que conlleva (Fig. 2). La mayor cantidad de emisiones para la generación de energía eléctrica le corresponde al gas natural como combustible (Fig. 3), alcanzando una cifra de 1.499.322 tCO₂.³ En referencia al origen del consumo de energía eléctrica se puede observar que el 39.7% le corresponde al sector industrial, seguido por el 35% del

³ Devalis, S. (Ed. Copiar 2003). Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba. Córdoba, Argentina.

residencial, lo cual determina la importancia de prestarle especial atención al ámbito de la vivienda (Fig. 4). Artefactos como aire acondicionado, heladeras y sistemas de iluminación representan el mayor porcentaje al que se destina el uso de energía eléctrica en el sector residencial (Fig. 5).

Fig. 4. Origen del consumo de energía eléctrica MWh **Fig. 5.** Consumo final de electricidad por artefacto (%)



Fuente: Figuras realizadas por el autor en base a datos obtenidos de "Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba" Devalis, S. (Ed. Copiar 2003). Córdoba, Argentina.

El hecho de que el gas natural se encuentre subsidiado por el Estado representa un gran riesgo para la conciencia colectiva de la población, que utiliza indiscriminadamente el servicio por el bajo costo que le significa. El consumidor final desconoce el origen de la producción de energía eléctrica y sus consecuencias en el medio ambiente y la implicancia que tiene el sector residencial en su consumo es elevada en relación a otros sectores, es por esto que tanto arquitectos como usuarios de las viviendas tienen un rol fundamental en la reducción del mismo. El uso de equipos de aire acondicionado y cantidad de horas de iluminación pueden disminuirse con un adecuado diseño arquitectónico aprovechando el sol como recurso y optimizando materiales y sistemas constructivos. En los últimos 20 años el crecimiento de la ciudad de Córdoba se ha basado en la densificación de barrios próximos al área central y en el desarrollo de urbanizaciones en la periferia, generando estas últimas una fragmentación espacial caracterizada por la presencia tanto de los conjuntos residenciales de altos ingresos (barrios cerrados/privados) como de los barrios y asentamientos que concentran situaciones de vulnerabilidad social y pobreza⁴. Una de las consecuencias de este proceso de urbanización en la periferia es la demanda de extensión de infraestructura y servicios para estos barrios privados, la cual se ve satisfecha por las mismas empresas desarrollistas. Servicios como agua y luz en general son provistos sin problemas, no siendo el caso del gas natural, debiendo preverse la utilización de gas envasado para satisfacer la necesidad. Como objetivo se plantea el estudio de un diseño de vivienda tipo de 100m² aprox. ubicada en un loteo en las afueras de la ciudad de Córdoba, evaluando su comportamiento térmico mediante la simulación energética a través del programa de "SIMEDIF para simulación térmica de edificios". A partir de los resultados obtenidos se proponen mejoras constructivas y de diseño para optimizar los resultados y minimizar el consumo energético.

Metodología

Se desarrolla un diseño de vivienda convencional para la ciudad de Córdoba. Se define la zona bioambiental para el proyecto según IRAM 11603:1996 y los elementos constructivos que conforman los distintos tipos de envoltentes y se calcula su coeficiente de transmitancia térmica según IRAM 11605:1996. Se evalúa el comportamiento térmico horario de la vivienda para invierno y verano y se

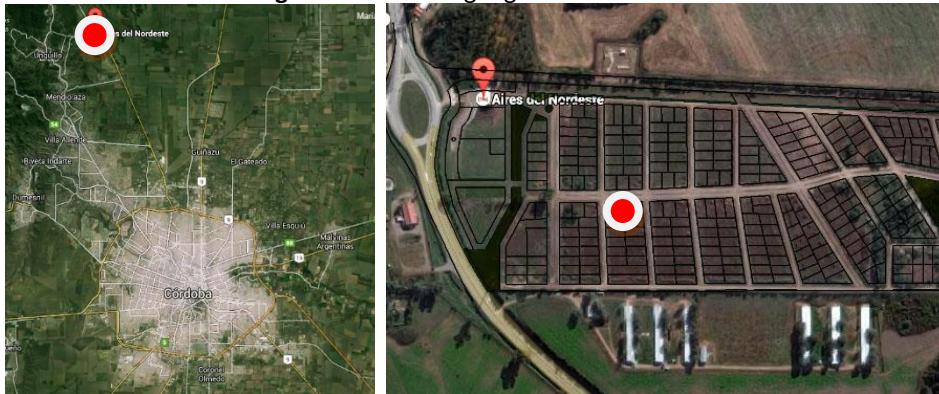
⁴ Marengo, C. et al. (2006). *La periferia de Córdoba – cuestiones sobre hábitat urbano*. Córdoba, Argentina.

calculan las necesidades de refrigeración y calefacción auxiliares que necesitará en ambos períodos. Luego se desarrolla la misma metodología para la misma vivienda pero con estrategias de mejora constructivas y de diseño. Se calcula la etiqueta energética con el procedimiento indicado en la Norma IRAM 11900:2010 para ambas propuestas y se comparan resultados. También se evalúan costos y período de amortización de las mejoras propuestas.

1- Localización y descripción climática

El lugar de implantación de la vivienda (Fig. 6) se plantea en un barrio cerrado ubicado en las afueras de la ciudad de Córdoba (lat. 31°O, long. 64°S - altura SNM 474m), es por esto que se toman los datos correspondientes a la estación Meteorológica ubicada en el Aeropuerto. La zona bioambiental es la IIIA. El lote es de 350m², superficie muy común para este tipo de urbanizaciones. La normativa del barrio establece un Factor de Ocupación del Suelo del 50%, un Factor de Ocupación Total de 0,5 y retiros de 3m de frente y 1.50m hacia las medianeras; Este tipo de reglamentación permite diseñar las cuatro fachadas de la vivienda (con limitaciones de visuales hacia los terrenos linderos) y genera una mayor pérdida y ganancia de energía entre una vivienda y otra al no estar adosadas.

Fig. 6. Localización geográfica



Fuente: <https://www.google.com.ar/maps>

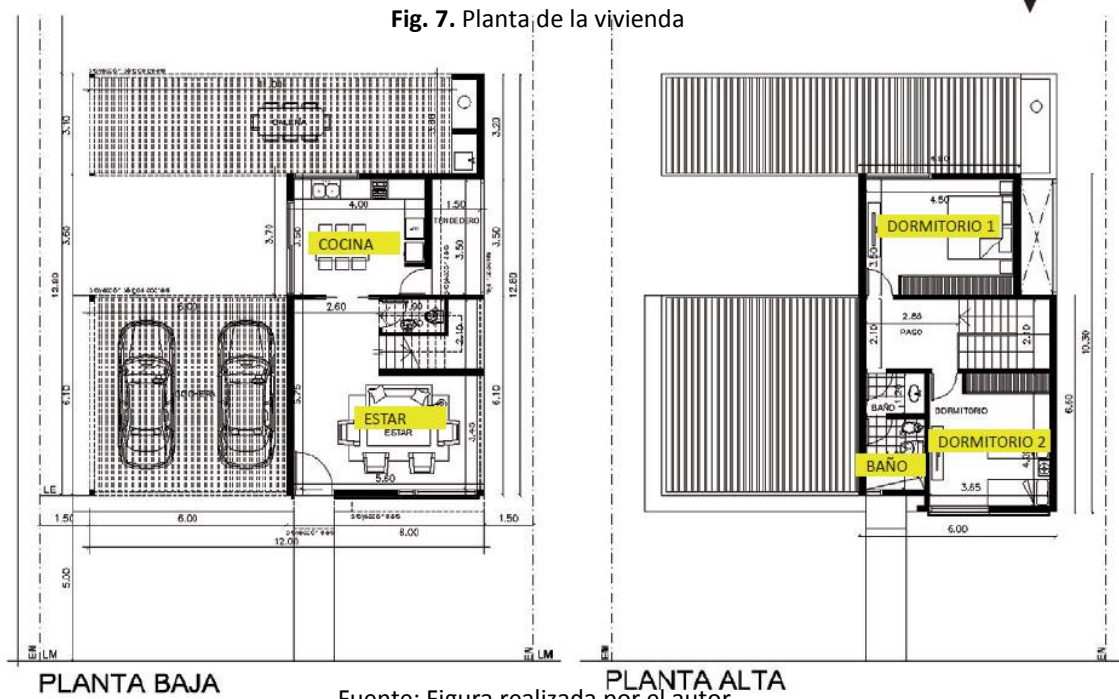
Tabla 1. Datos climáticos

| | Anual | Enero | Julio |
|--|--|--|---|
| Temperatura | Máxima media (°C) | 31,5 | 19,6 |
| | Mínima media (°C) | 10,4 °C | 2,1 |
| | Media (°C) | | 23,65 |
| Amplitud térmica (°C) | | 15,7 | 17,5 |
| Velocidad media de viento (km/h) | 11,3 | 10,3 | 10,9 |
| Radiación global horizontal (Kw/m ² a Mj/m ²) | 16 Mj/m ² 4,5 Kw/m ² | 22,7 Mj/m ² 6,3 Kw/m ² | 9,4 Mj/m ² 2,6 Kw/m ² |
| Humedad relativa | 69% | 72% | 70% |
| Grados día de calefacción (base 18°C) | 748 | | |
| Grados días de enfriamiento (base 20°C) | 392 | | |
| Temperatura exterior de diseño | | 33,1°C | 0,5°C |
| Densidad del aire | | 1,14 kg/m ³ | |

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (Córdoba Aero, período 1981 - 1990)-Norma IRAM 11603:1996 - Rosi Gallegos y Righini, 2007.

El clima de la ciudad de Córdoba es templado moderado con las cuatro estaciones bien definidas. En términos generales el clima es pampeano, de inviernos no muy fríos y poco lluviosos. Los veranos son húmedos, con días calurosos y noches frescas. Los vientos del este y del oeste son raros, de corta duración y poca intensidad. Existe una diferencia de 5°C ó más entre el área céntrica y la periferia. El área céntrica, densamente edificada y ubicada en una depresión, es el núcleo de una importante isla de calor. Se establecen los datos climáticos de la zona de estudio en la tabla 1.

2- Diseño de la vivienda propuesta



Fuente: Figura realizada por el autor.

Fig. 8. Fachada de la vivienda

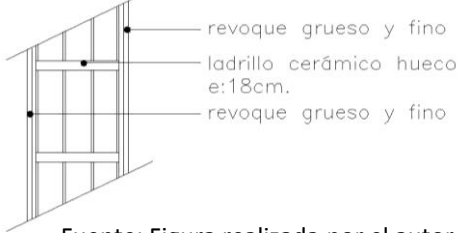


Fuente: Figura realizada por el autor

El proyecto de la vivienda se dispone en dos plantas, partiendo de 100m² con posibilidad de ampliación a futuro (Figs. 7 y 8). Las paredes externas se proponen de ladrillo cerámico hueco de 18cm de espesor con revoque en ambas caras (Fig. 9), pintadas color gris oscuro hacia el exterior, con un K de 1,42 W/m²°C, a excepción del dormitorio 2 que sería color blanco. Los muros internos serían de ladrillo cerámico hueco de 12cm revocado en ambas caras y pintados color blanco. Se realiza la verificación de K para muros exteriores según Norma IRAM 11605:1996, para los tres niveles (tabla 2). En este análisis se toma en cuenta el coeficiente de absorción del muro propuesto, que en este caso sería de 0,75. Los resultados demuestran que no cumple con los valores recomendados por la norma. La cubierta de techo (Fig. 10) se propone de losa de viguetas prefabricadas, hormigón de pendiente con vermiculita y membrana hidrófuga. El coeficiente de absorción utilizado es de 0,30 (color gris claro). Se realiza la verificación de K para techo según Norma IRAM 11605:1996 y con un coeficiente de 0,87 W/m²°C se observa que sólo verifica para el nivel C (mínimo) tanto para invierno como para verano (tabla 3). El valor de K para piso (Fig. 11) es de

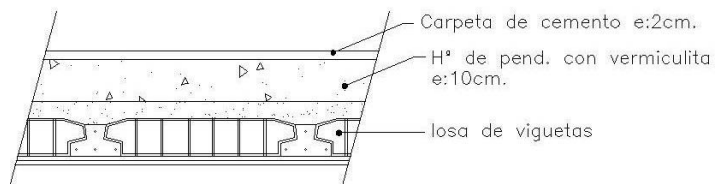
1,55W/m²°C, y para entpiso de 3,34W/m²°C (Fig. 12); el de las ventanas es de 5 W/m²°C (vidrio incoloro común con cortinas internas).

Fig. 9. Envoltente vertical exterior



Fuente: Figura realizada por el autor.

Fig. 10. Envoltente horizontal: techo



Fuente: Figura realizada por el autor.

Tabla 2. Verificación de K en envolvente vertical

| Ut = 1,42 W/m ² °C | Nivel A | | Nivel B | | Nivel C | |
|----------------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | W/m ² °C | Verifica | W/m ² °C | Verifica | W/m ² °C | Verifica |
| Verano | 0,19 | NO | 0,48 | NO | 0,76 | NO |
| Invierno | 0,32 | NO | 0,83 | NO | 1 | NO |

Fuente: Tabla realizada por el autor en base a Norma IRAM 11605:1996

Tabla 3. Verificación de K en techo

| Ut = 0,87 W/m ² °C | Nivel A | | Nivel B | | Nivel C | |
|----------------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | W/m ² °C | Verifica | W/m ² °C | Verifica | W/m ² °C | Verifica |
| Verano | 0,25 | NO | 0,62 | NO | 0,99 | SÍ |
| Invierno | 0,32 | NO | 0,83 | NO | 1 | SÍ |

Fuente: Tabla realizada por el autor en base a Norma IRAM 11605:1996

Fig. 11. Envoltente horizontal: piso

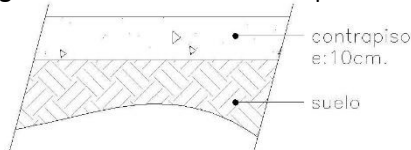
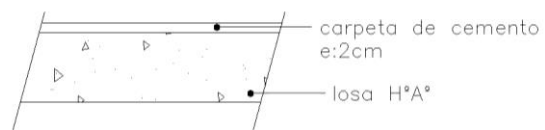


Fig. 12. Envoltente horizontal: entpiso



Fuente: Figuras realizadas por el autor.

Se realiza la simulación energética mediante el programa SIMEDIF en un período periódico permanente de 10 días, en el cual las temperaturas medias y la radiación son iguales, y se grafica el penúltimo día cuando el sistema entra en régimen. Se consideran ganancias internas en base a la actividad de una pareja con 2 hijos y se tienen en cuenta los artefactos eléctricos tales como heladera, cafetera, tv., secador de pelo y luminarias de bajo consumo, como así también las ganancias producidas durante la cocción de alimentos. El número de renovaciones por hora es de 0,6, teniendo en cuenta que se trata de carpinterías de aluminio con altos niveles de hermeticidad.⁵ De acuerdo a la Figura 13, en *verano* la mayoría de los locales se encuentran fuera de la zona de confort (considerada entre 18°C y 26°C); las máximas temperaturas son alcanzadas después de las 13hs. y comienzan a descender recién después de las 23hs. El dormitorio 1 (Sur) llega a tener más de 31°C. La elevada temperatura puede deberse a las dimensiones de las aberturas y el color oscuro de la superficie expuesta a la radiación, así como la ausencia de aislación térmica en techo y envoltentes que limiten el paso del calor. En la figura 14 se observa que en *invierno* todos los locales de la vivienda se encuentran muy por debajo de la zona de confort; el dormitorio 1 (Sur) registra una temperatura mínima de 12°C a las 7:00hs; el dormitorio 2 (Norte) alcanza una temperatura de 12°C a las 6:00hs y el estar presenta una temperatura de entre 10° y 12°C a partir de las 9:00 de la mañana.

⁵ Para el cálculo ninguno de los ambientes de la vivienda se consideró climatizado.

Fig. 13. Temperaturas horarias de locales: verano.

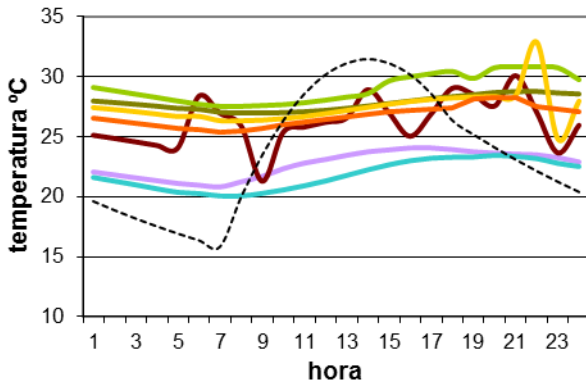
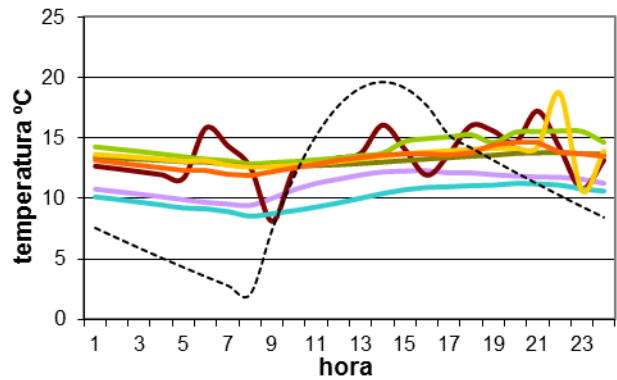


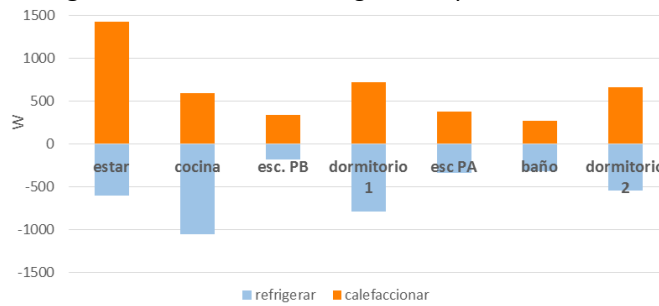
Fig. 14. Temperaturas horarias de locales: invierno.



Fuente: Figuras realizadas por el autor.

Sobre la base de la simulación energética se supone la termostatación de los locales a 23°C para cuantificar las necesidades de refrigeración y calefacción que se necesitan para alcanzar dicha temperatura (Fig. 15), considerada confortable. Se observa que se requieren 4.432W para calefaccionar toda la vivienda (3.811 Kcal/h). A su vez se necesitarían 3.842W para refrigerarla en verano, equivalentes a 3.300 Frig/h.

Fig. 15. Necesidades de refrigeración y calefacción auxiliares.



Fuente: Figura realizada por el autor.

3- Diseño de la vivienda propuesta con mejoras

Fig. 16. Fachada de la vivienda



Fuente: Figura realizada por el autor.

Se propone cambiar color de pintura de fachada (Fig. 16) por otro de menor coeficiente de absorción (0,20 para color blanco); colocar ventanas con doble vidriado hermético y parasoles externos; disminuir el tamaño de la abertura del dormitorio 2 (Norte) para minimizar el sobre calentamiento en verano (estación más crítica para Córdoba); eliminar aberturas al Oeste y generar una nueva ventana en la parte superior del dormitorio 1 (Sur) para aumentar ganancias en invierno; sombrear la

pared Oeste y la pérgola de la cochera con vegetación. A los muros exteriores de ladrillo cerámico hueco se le suma una placa de poliestireno expandido de 5cm de espesor y se completa con ladrillo cerámico hueco de 8cm (Fig. 17), lo que disminuye el K a 0,42 W/m²°C, valor tres veces menor al que presenta la opción convencional. Se realiza la verificación según Norma IRAM 11605:1996 y se comprueba que es favorable para los niveles B y C y para el nivel A en verano (Tabla 4). En el caso de la envolvente horizontal de techo (Fig. 20) se coloca una placa de poliestireno expandido de 10cm de espesor, reduciéndose el valor de K a 0,25 W/m²°C. Se verifica como en el caso anterior, resultando favorable para los tres niveles (Tabla 5).

Fig. 17. Envolvente vertical exterior

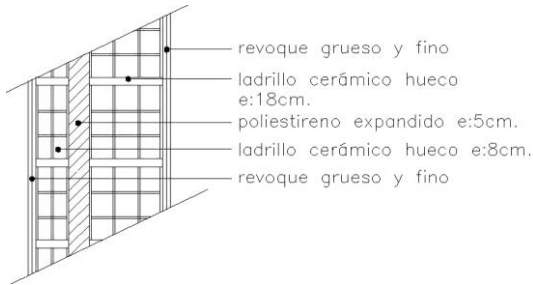
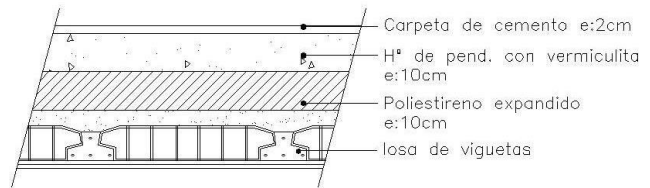


Fig. 18. Envolvente horizontal: techo



Fuente: Figuras realizadas por el autor.

Tabla 4. Verificación de K en envolvente vertical alternativa

| Ut = 0,42 W/m ² °C | Nivel A | | Nivel B | | Nivel C | |
|----------------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | W/m ² °C | Verifica | W/m ² °C | Verifica | W/m ² °C | Verifica |
| Verano | 0,6 | SI | 1,5 | SÍ | 2,4 | SÍ |
| Invierno | 0,38 | NO | 1 | SÍ | 1,85 | SÍ |

Fuente: Tabla realizada por el autor en base a Norma IRAM 11605:1996

Tabla 5. Verificación de K en envolvente horizontal de techo alternativa

| Ut = 0,25 W/m ² °C | Nivel A | | Nivel B | | Nivel C | |
|----------------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | W/m ² °C | Verifica | W/m ² °C | Verifica | W/m ² °C | Verifica |
| Verano | 0,6 | SI | 1,5 | SÍ | 2,4 | SÍ |
| Invierno | 0,6 | SI | 1 | SÍ | 1,85 | SÍ |

Fuente: Tabla realizada por el autor en base a Norma IRAM 11605:1996

Fig. 19. Envolvente horizontal: piso

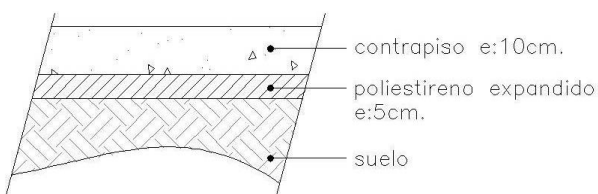
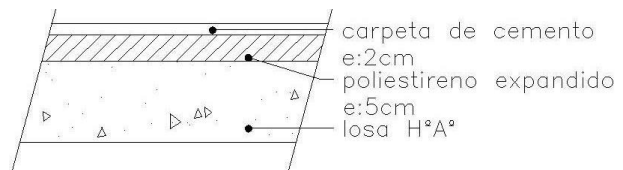


Fig. 20. Envolvente horizontal: entrepiso



Fuente: Figuras realizadas por el autor.

El valor de K para piso se reduce a 0,54W/m²°C y el del entrepiso a 0,58W/m²°C con la incorporación de 5cm de poliestireno expandido en ambos casos (Figs. 19 y 20). Al aislar el entrepiso se disminuyen las ganancias y pérdidas de calor por transferencia entre un ambiente y otro: en verano la planta alta alcanza mayores temperaturas que la planta baja y en invierno se conserva el calor obtenido por captación. El valor de K para el tipo de abertura propuesta (DVH) es de 2.15 W/m²°C. Se realiza nuevamente la simulación energética ⁶ con renovaciones/hora de 0,6 y las mismas características de ocupación y, tal como se observa en la figura 21, en *verano* los locales en su mayoría se encuentran dentro de la zona de confort gracias al cambio de color en fachada y la incorporación de las

⁶ Para el cálculo ninguno de los ambientes de la vivienda se consideró climatizado.

aislaciones correspondientes en muros, techo, piso y entrepiso. Se logra una importante reducción de ganancias en el dormitorio 1 (Sur), que alcanza una temperatura máx. de 24,7°C a las 23hs.; con la simple acción de apertura de las ventanas a partir de las 19:00hs. este valor podría disminuir aun más. La temperatura del dormitorio 2 (Norte) disminuye considerablemente al achicar el ventanal y proporcionar protección externa con parasoles; la temperatura máx. alcanzada es de 22,9°C a las 21:00hs. La cocina es el lugar de la vivienda con mayor fluctuación de temperaturas debido a las actividades de los ocupantes y los efectos del uso de artefactos que son fuente de calor. La temperatura máx. que alcanza el estar es de 19,9°C a las 14:00hs.

Fig. 21. Temperaturas horarias de locales: verano.

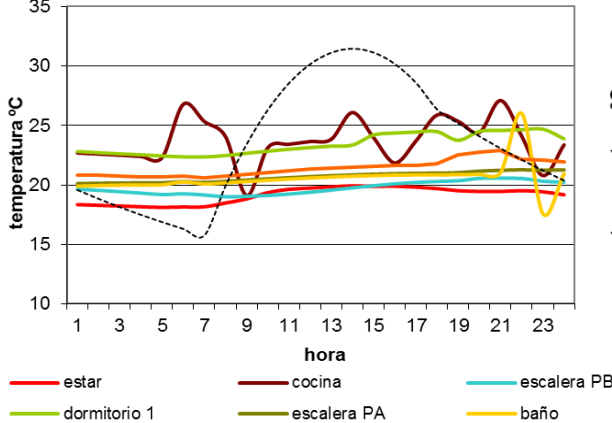
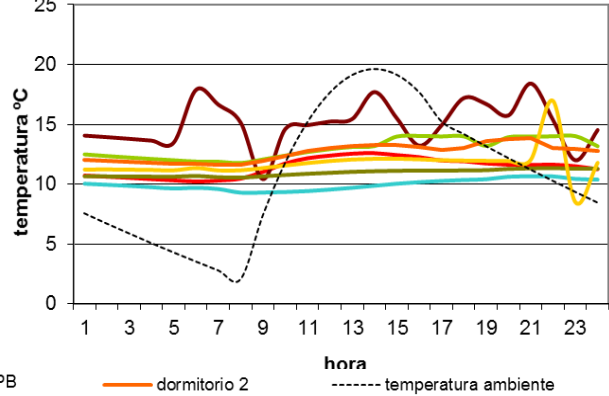


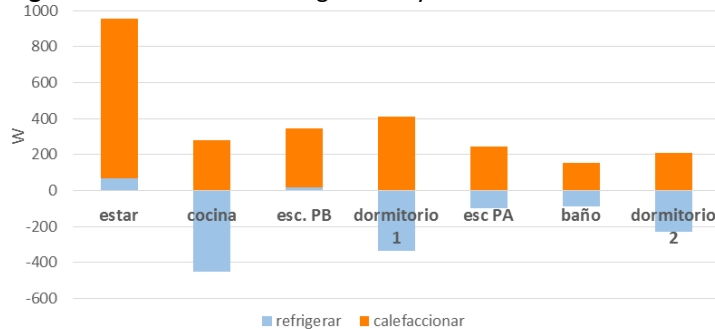
Fig. 22. Temperaturas horarias de locales: invierno.



Fuente: Figuras realizadas por el autor.

En *invierno*, de acuerdo a la figura 22, si bien los locales se encuentran fuera de la zona de confort, las necesidades de calefacción en invierno logran reducirse a la mitad con respecto a la opción convencional. La temperatura mínima del estar es de 10,2°C a las 6:00 hs.; la del dormitorio 1 (sur) es de 11,7°C a las 7:00hs y asciende a 14°C a partir de las 16:00hs. El dormitorio 2 (norte), según los resultados de la simulación, presenta una temperatura mínima de 11,5°C a las 7:00hs y luego alcanza los 13,8°C a las 20:00hs. Según los resultados, mientras que la temperatura exterior presenta una amplitud térmica diaria de 17,5°C con una mínima de 2,1°C y una máxima de 19,6°C, el interior mantiene la temperatura constante con una temperatura media de aproximadamente 12°C.

Fig. 23. Necesidades de refrigeración y calefacción auxiliares.



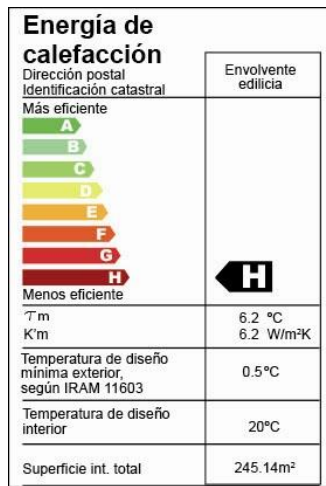
Fuente: Figura realizada por el autor.

Se calculan nuevamente las necesidades de refrigeración y calefacción auxiliares (Fig. 23) y los resultados determinan que se necesitarían 1.122,55W para enfriar la vivienda en verano, equivalentes a 965,2 Frig/h y 2.514,35W en invierno, equivalentes a 2.161,8 Kcal/h.

4- Etiqueta energética de calefacción

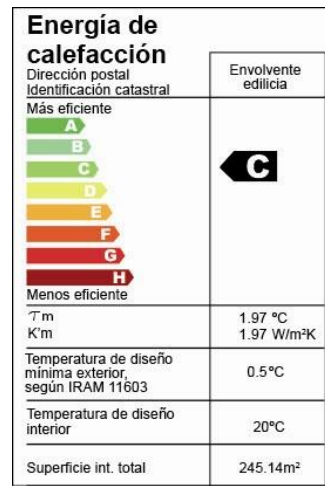
Según la Norma IRAM 11900:2010, el nivel de eficiencia energética de calefacción para la opción convencional sería categoría H al tener una T_m de 6,16°C (Fig. 24), pero al incorporar las mejoras constructivas y de diseño de la vivienda se lograría alcanzar la categoría C con un T_m de 1,97°C (Fig. 25). El rediseño de aberturas y la colocación de elementos de protección y aislaciones en las envolventes permitieron mejorar su desempeño y minimizar el consumo energético.

Fig. 24. Etiqueta energética opción convencional



Fuente: Figura realizada por el autor.

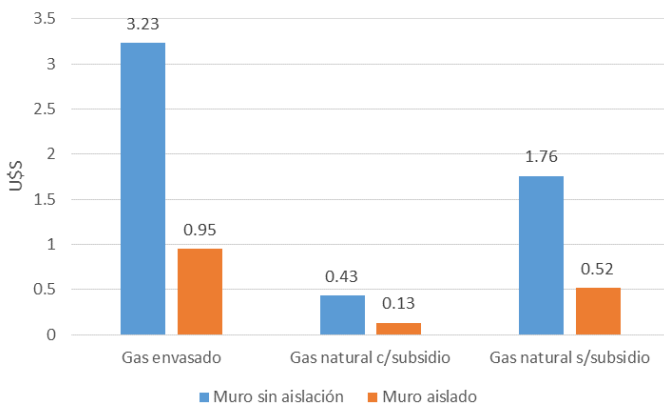
Fig. 25. Etiqueta energética opción con mejoras



Fuente: Figura realizada por el autor.

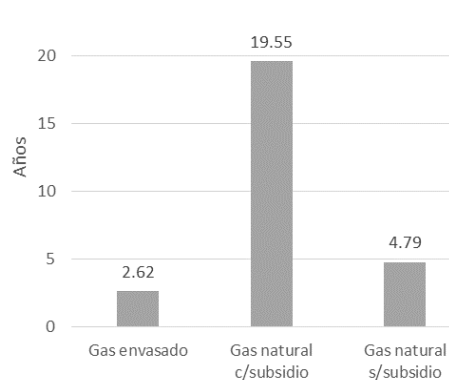
6- Evaluación económica

Fig. 26. Costo anual energía de calefacción U\$S/m³



Fuente: Figura realizada por el autor

Fig. 27. Periodo de recuperado de inversión



Fuente: Figura realizada por el autor

Tal como se muestra en la figura 26, se realiza un análisis comparativo del costo anual de energía de calefacción por m³, teniendo en cuenta a su vez el tipo de combustible utilizado y su precio actual (0,97 U\$S/m³ para gas envasado; 0,13 U\$S/m³ para gas natural con subsidio; 0,53 U\$S/m³ para gas natural sin subsidio⁷). Para el cálculo se tuvieron en cuenta los 748 grados día de calefacción (base 18°C) según zona bioambiental, un 70% de eficiencia del sistema y el poder calorífico del gas natural

⁷ Asociación de Distribuidores de Gas (ADIGAS). Comparación Internacional de Tarifas de Gas Natural para Clientes Residenciales e Industriales a agosto 2014 (2014). Recuperado en noviembre de 2015 de <http://www.adigas.com.ar/documentos/pdf/2014AgostoPreciosInternacionales.pdf>.

de 37.300 MJ. Los resultados demuestran que el costo de calefacción con gas envasado de la vivienda utilizando una envolvente convencional de ladrillo cerámico hueco sin aislación supera tres veces aproximadamente al de una envolvente aislada térmicamente. El período de recupero de la inversión en aislación térmica para el tipo de muro propuesto es de 2,5 años si se consume gas envasado durante el período de uso y de casi 5 años si se utiliza gas natural sin el subsidio del Estado. Normalmente las empresas desarrollistas venden los terrenos con la promesa del gas natural a futuro, pero hasta ese momento (suele ser un período no menor a 2 años) las viviendas deben abastecerse mediante gas envasado. En la tabla 6 se deduce sobrecosto de construcción de la vivienda por la incorporación de las mejoras propuestas en paredes, piso, entrepiso, techo y aberturas, determinando una variación porcentual del 14,5% con respecto a la opción convencional.

Tabla 6. Evaluación económica comparativa en \$ (materiales + mano de obra)

| vivienda convencional | \$/m2 | m2 | total \$ | vivienda mejorada | \$/m2 | m2 | \$ total | variación porcentual |
|-----------------------|----------|-------|-------------------|-------------------|----------|--------|-------------------|----------------------|
| pared lad. cer. | 557,40 | 99,70 | 55.572,78 | muro doble aisl. | 715,70 | 101,70 | 72.786,69 | 28,40% |
| platea de HºAº | 1.707,00 | 50,00 | 85.350,00 | platea aislada | 1.763,70 | 50,00 | 88.185,00 | 3,32% |
| losa maciza ent | 1.168,80 | 44,43 | 51.929,78 | entrep. aislado | 1.225,50 | 44,43 | 54.448,97 | 4,85% |
| losa viguetas | 1.238,30 | 50,45 | 62.472,24 | losa vig. aisl. | 1.351,70 | 50,45 | 68.193,27 | 9,16% |
| Vidrios 3mm | 237,68 | 39,96 | 9.497,69 | DVH 3+3mm | 521,20 | 37,96 | 19.784,75 | 119,28% |
| TOTAL | | | 264.822,49 | | | | 303.398,67 | 14,50% |

Fuente: Tabla realizada por el autor en base a datos extraídos de revista "Arquitectos" Nº150 Julio-Agosto2015.

Conclusiones

El análisis comparativo entre ambas viviendas propuestas demuestra la eficacia de aplicar criterios bioclimáticos en el proyecto de arquitectura. Es posible mediante la simulación energética evaluar el comportamiento térmico y mejorar y reformular el diseño de acuerdo a los resultados que se van obteniendo con el cálculo, sin que esto implique grandes modificaciones en la imagen externa. Dado que la hipótesis de trabajo fue considerar las dos estaciones extremas, se buscó un equilibrio entre los resultados tanto para invierno como para verano. Si bien las curvas de temperaturas máx. en invierno disminuyen con las mejoras, las mínimas no bajan y se logra una temperatura interior más constante, logrando reducir la carga necesaria para calefacción en un 50%. En verano las necesidades de refrigeración disminuyen a menos de la tercera parte de la opción convencional, lo cual para un clima como el de Córdoba representaría un ahorro significativo en consumo eléctrico por equipos de aire acondicionado. La etiqueta energética de eficiencia en calefacción es un indicador útil a la hora de evaluar el desempeño de la envolvente de una vivienda y permitió saber rápidamente qué parámetros modificar para mejorar el comportamiento térmico en base a los coeficientes de transmitancia térmica y superficies expuestas a radiación. Los resultados demuestran que es factible realizar una primera inversión en la construcción de la vivienda con un sobrecosto del 14% para el total de las mejoras que permite amortizarla en pocos años si se tiene en cuenta que la energía de calefacción proviene de gas envasado o gas natural sin subsidio.

Bibliografía

- Asociación de Distribuidores de Gas (ADIGAS). Comparación Internacional de Tarifas de Gas Natural para Clientes Residenciales e Industriales a agosto 2014 (2014). Recuperado en noviembre de 2015 de <http://www.adigas.com.ar/documentos/pdf/2014AgostoPreciosInternacionales.pdf>.
- Devalis, S. (Ed. Copiar 2003). Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba. Cba., Argentina.
- Gobierno de la Provincia de Córdoba, portal web. Aspectos generales del clima (2014). Recuperado en noviembre de 2015 de <http://www.cba.gov.ar/provincia/aspectos-generales/clima/>
- Grossi Gallegos H. y Righini R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Versión CD.
- Marengo, C. et al. (2006). *La periferia de Córdoba—cuestiones sobre hábitat urbano*. Cba., Argentina.
- Norma IRAM 11601:2002. *Aislamiento térmico de edificios, métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11603:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11605:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11900:2010. *Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.
- Precios de rubros en arquitectura. *Arquitextos*. Julio-agosto de 2015. Nº150 p. 170.
- Simedif bajo Windows. Flores Larsen; Lesino, 2001.

Autores

Celina Filippín es arquitecta (UNLP), Magíster en Energías Renovables (UNSA), Doctora en Ciencias, Especialidad Energías Renovables por la Facultad de Ciencias Exactas (UNSA); investigadora Principal de CONICET; Miembro Junta de Calificación y Promoción CONICET. cfilippin@cpenet.com.ar

María Pía Mazzocco es arquitecta (UNC 2008). Miembro activo del Instituto de Arquitectura Sustentable del Colegio de Arquitectos de la Provincia de Córdoba (2011). Desarrolla la actividad profesional de manera independiente. piamazzocco@gmail.com

Escuela Bioclimática y Sustentable

SECUNDARIA Nº 39 - Villa de Antofagasta de la Sierra - CATAMARCA

Erika Walter¹, Matías Agüero², María Gabriela Watkins³, Gabriela Mansilla⁴

Resumen

En este trabajo se presenta el proyecto y la construcción de una escuela realizada en la Villa de Antofagasta de la Sierra (latitud: -26°06', longitud: 67°41' y altura sobre el nivel del mar: 3440mts), localidad ubicada en la provincia de Catamarca, de clima árido andino puneño, con grandes amplitudes térmicas y altos niveles de irradiación solar. La imagen de la Villa, en su conjunto, preserva los valores culturales y patrimoniales de los lugareños. El objetivo de éste proyecto es utilizar estrategias de diseño bioclimático, técnicas constructivas apropiadas y generación de energía solar-térmica, para contribuir a la sustentabilidad local, respondiendo a una visión integral y ambientalista. Se logra construir una escuela que contempla la tradición cultural, la utilización de los recursos locales, el máximo aprovechamiento del clima y la adecuación bioclimática. De ésta manera, además se minimiza el impacto ambiental, se reducen costos de ejecución y se revalorizan técnicas tradicionales de construcción.

Palabras clave: eficiencia energética; arquitectura bioclimática; regionalismo.

Bioclimatic and Sustainable School

SECONDARY Nº 39 - Villa Antofagasta de la Sierra – CATAMARCA

Abstract

It is present in this work the project and build of school in the town of Antofagasta de la Sierra (: -26 ° 06 ', longitude: 67 ° 41' and height above sea level 3440mts latitude) located in the province of Catamarca, Puna Andean arid climate, with large temperature ranges and high levels of sunlight. The image of the village preserve in a whole, cultural and heritage values of his people. The objective of this project is to use strategies of bioclimatic design, appropriate construction techniques and thermal power generation, to contribute to local sustainability, responding to a comprehensive environmental vision. It is manages to build a school that includes the cultural tradition, the use of local resources, the optimization of climate and bioclimatic suitability. Thus also minimizing the environmental impact, reduce cost of construction and revalue traditional techniques.

Keywords: energy efficiency; bioclimatic architecture; regionalism.

^{1,2,3y4} Dirección de Proyectos de Infraestructura Escolar – Ministerio de Obras Públicas – Catamarca, Argentina.

1-Introducción

Es importante considerar que las escuelas en la puna, no sólo son un edificio educativo o de instrucción, sino que, son también un punto de reunión popular que debe contemplar actividades que involucren a toda la comunidad.

Una concepción Bioclimática Arquitectónica, actualiza soluciones que están presentes en las edificaciones rurales tradicionales, pero con el uso de nuevas herramientas y tecnologías, que permiten pasar de edificaciones que surgen intuitivamente y van evolucionando en el tiempo, a diseños donde se puede saber antes de la construcción su comportamiento frente a las condiciones ambientales. (Ministerio de Educación de Perú, 2008)

En el proyecto arquitectónico de ampliación y refacción del edificio de la Escuela de Educación Especial de Zonda, Provincia de San Juan, de diseño bioclimático, propone la transferencia directa de conocimientos científicos desde la Universidad al medio, a través de la aplicación concreta de nuevos conocimientos generados en el ámbito académico de la investigación científica y tecnológica, respecto al diseño arquitectónico bioclimático. El proyecto se orienta a colaborar con la sustentabilidad de los asentamientos humanos localizados en zona árida, identificando la oferta ambiental del territorio y aprovechando su potencial climático para la provisión de confort higrotérmico a los usuarios, colaborando con el ahorro de energía convencional. Éste proyecto resuelve problemas espacio-funcionales, se logran resultados de acondicionamiento térmico y se forma a la comunidad escolar en los principios de educación ambiental y arquitectura sustentable. (Cúnsulo et al, 2008)

La concepción bioclimática es la que aconseja utilizar por medio de la arquitectura los elementos favorables del clima natural con objeto de satisfacer las exigencias de confort térmico de las personas, en su hábitat (Collet y Maristany, 1995).

Esteves (2003) considera que la arquitectura y el urbanismo sustentables son un desafío. Los proyectistas de edificios son personas que tienen una responsabilidad creciente sobre el impacto sobre el medio ambiente. El desafío es grande, multidisciplinario y transdisciplinario es decir, todos estamos insertos en él, los Profesionales proyectistas deben generar proyectos más amigables con el medio ambiente.

Localización y contexto:

El Proyecto se emplaza en la Villa de Antofagasta de la Sierra, situada en la Puna catamarqueña, (latitud: -26°06', longitud: 67°41') a 3440 m.s.n.m. y a 582 km. de San Fernando del Valle de Catamarca.

La Escuela Secundaria N°39, no poseía edificio propio y funcionaba en turno vespertino-nocturno en el edificio de la Escuela Primaria N°494, situación totalmente inadecuada para una zona climática de condiciones tan adversas. También existía la necesidad de contar con albergue para docentes y alumnos.

Es menester aclarar algunas condicionantes del sitio: no hay redes de gas natural, sólo gas envasado en garrafas, la energía eléctrica la proporciona una usina, de 6 a 11 de la noche y hay leña en la zona.

El terreno destinado a la construcción de la escuela, se encuentra al pie de un importante marco natural y paisajístico (Farallón), hito significativo con el que cuenta el lugar. (Figura 1).

Figura 1 -Vista del terreno destinado a la construcción de la escuela.

Fuente: fotografía tomada por el autor

Clima: La localidad donde se insertar el edificio escolar pertenece a Zona Bioambiental Región V (Frío). El clima es Árido andino puneño (de alta montaña), riguroso, frío y seco, se caracteriza por su aridez, muy inhóspito, con escasas precipitaciones, pues la defensa de los cordones montañosos impide el paso de los vientos húmedos. Se producen nevadas ocasionales, que no duran por la incidencia de la radiación solar. Las condiciones climáticas son extraordinariamente severas.

Por la falta de datos precisos en el sitio de emplazamiento del proyecto, se extrajeron los proporcionados por la Minera del Altiplano, que cuenta con una estación meteorológica, en el Salar del Hombre Muerto, dentro de los límites de nuestra provincia, la cual presenta características geográficas y climatológicas muy similares. (Tabla 1).

Los Grados-día permiten determinar la rigurosidad del clima del lugar, por ejemplo a San Fernando del Valle de Catamarca le corresponden 416 (base 18°C) y a La Villa 3996,4 (base 18°C).

Tabla 1-Variables climáticas- Estación meteorológica Salar del Hombre Muerto - Minera del Altiplano (Mda) – (Datos históricos Período 1992-2001)

| Variable | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Anual |
|-------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|---------|-----------|-----------|--------|
| Horas de sol | 13,26 | 12,51 | 12,9 | 11,22 | 10,43 | 10,23 | 10,32 | 11,6 | 11,51 | 12,37 | 13,17 | 13,36 | 11,90 |
| Precipitación media (mm) | 31,6 | 20 | 7,8 | 1,1 | 0,7 | 1 | 1,2 | 0,8 | 1,6 | 0 | 0,4 | 7,1 | 77,4 |
| Temperatura media (°C) | 11,6 | 10,9 | 9 | 5,5 | 1,6 | -0,77 | -1,6 | 0,33 | 2,7 | 5,4 | 7,4 | 9,6 | 5,2 |
| Temperatura máxima media (°C) | 20,9 | 20,4 | 18,7 | 15,9 | 11,6 | 7,8 | 7 | 9,1 | 11,2 | 14 | 16,2 | 17,8 | 14,2 |
| Temperatura mínima media (°C) | 2,6 | 1,3 | -1 | -4,3 | -8,2 | -6,4 | -9,5 | -8 | -5,9 | -4 | -2,2 | -0,3 | -3,8 |
| Velocidad media viento (Km/h) | 8,3 | 8,8 | 8,2 | 9,5 | 10,1 | 10,6 | 11,2 | 11,1 | 12,9 | 12,5 | 10,7 | 9,5 | 10,3 |
| HR Med (%) | 37,7 | 32,8 | 29 | 20,2 | 21,2 | 21 | 22,3 | 20,1 | 20,4 | 23,5 | 23,5 | 26,4 | 24,84 |
| Grado día | 130,2 | 142,8 | 223,2 | 315 | 443,3 | 495 | 533,2 | 477,4 | 399 | 341 | 270 | 226,3 | 3996,4 |

2-Objetivo

Diseñar y construir un edificio educativo respetando el hábitat tanto físico como humano y aprovechando los aspectos positivos del clima.

Las pautas generales del diseño contemplaron las siguientes premisas:

- Maximizar el uso de la energía solar foto-térmica y de los recursos de diseño para recuperar las condiciones de confort higrotérmico en la estación más rigurosa.
- Utilizar tecnología constructiva donde esté presente la tierra como material, pero estimulando nuevos aprendizajes de una forma innovadora como lo es el Bloque de Tierra Comprimida BTC.
- Acompañar la morfología del paisaje en un juego de figura y fondo, respetando y adaptándose a la imagen arquitectónica de la Villa.

- Reducir el costo de la construcción evitando gastos excesivos en traslado de materiales, mantenimiento y acondicionamiento térmico.

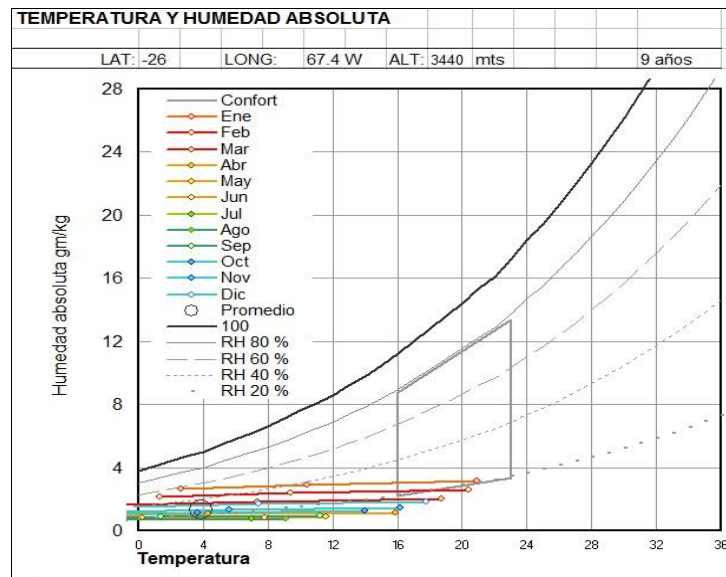
3-Metodología

El proceso metodológico contempló dos fases fundamentales pero íntimamente relacionadas, por un lado el procesamiento de los datos climáticos obtenidos del lugar y por otro de las técnicas constructivas apropiadas que se aplicarían.

Ya que una escuela es de uso intermitente, es muy útil el uso de bioclimogramas pues se evalúa su comportamiento térmico en los meses y horarios que efectivamente hay actividad escolar, además de orientar al proyectista, en cuanto a los recursos de diseño a aplicar.

Givoni (1969) propone un climograma realizado sobre un diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrotérmico para invierno y verano. Luego propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de estrategias de diseño pasivo

Figura 2-Diagrama Bioclimático de Givoni



Fuente: Programa e-clim – Análisis de clima y confort CIHE-FADA-UBA

Se establece una zona de confort, entre los 16 a 23 °C, debido a las bajas temperaturas reinantes todo el año. En verano, durante el período de clases, en enero y febrero la mayor parte del día nos encontramos cerca de la zona de confort, especialmente en días soleados y calmos. Las noches son frías. En horas extremas tendremos necesidad de protección y/o regulación del asoleamiento. En invierno, estamos siempre fuera de las condiciones de confort por lo que se hace imprescindible captar la máxima radiación solar posible durante el día y protegernos en un ambiente adecuado (aislado) en cuanto se ponga el sol. Aún en primavera se mantiene las condiciones de frío invernales. No es preciso bajar la temperatura por ventilación ni refrigeración evaporativa en ningún caso. (Figura 2).

Es recomendable entonces, conocer los niveles de irradiancia, ya que la altitud, latitud y disposición geográfica del sitio de emplazamiento, posibilita la incidencia de una importante radiación solar durante todo el año. Para ello se ha utilizado el programa GEOSOL V.2.0 para Windows (Hernández,

2003) que permite, a través de sus cálculos, estimar valores de irradiación solar y representar la trayectoria del sol en cartas solares. (Tabla 2).

Tabla 2- Aporte Irradiación solar horaria en las envolventes.

| MES MAYO | Azimut en grados | Pendiente en grados | Radiación (MJ/m ²) |
|------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|
| Pared Norte | 180 | 90 | 25.57 |
| Pared O/E | 90/270 | 90 | 13.26 |
| Pared Sur | 0 | 90 | 3.53 sólo indirecta |
| Cubierta | - | 0 | 19.22 |
| MES ENERO | 180 | 90 | 6.83 |
| Pared Norte | | | |
| Pared O/E | 90/270 | 90 | 20.75 |
| Pared Sur | 0 | 90 | 11.77 |
| Cubierta | - | 0 | 35.95 |
| MES MARZO | 180 | 90 | 13.23 |
| Pared Norte | | | |
| Pared O/E | 90/270 | 90 | 18.44 |
| Pared Sur | 0 | 90 | 5.22 |
| Cubierta | - | 0 | 29 |

Estrategias de diseño: Las estrategias propuestas para recuperar las condiciones de confort, serán para invierno, es decir vinculadas a la captación, acumulación, distribución y conservación de calor en los meses fríos.

Se plantearon también como estrategias de diseño:

- Edificio compacto, ya que las pérdidas de calor están directamente relacionadas con la superficie de su envolvente.
- Distribución de espacios acorde a orientaciones y necesidades de acondicionamiento de cada uno.
- Privilegiar la orientación del albergue.
- El uso de masa térmica para captar, acumular y disipar energía en el momento requerido.
- Una envolvente de baja permeabilidad térmica.
- Protección de la entrada, doble puerta en ingreso escuela y albergue.

Al comparar las técnicas de construcción utilizadas en la antigüedad y las empleadas hoy, se constata que ellas han evolucionado, pasando por cambios y adaptaciones propias del conocimiento adquirido a través de investigaciones, prácticas y del medio socio-económico y cultural donde se ejecutan. Así es que la fuerza del trabajo del hombre va siendo reemplazada por equipos y herramientas, a la vez que se introducen otros materiales regionales y algunos materiales sintéticos. (Neves et al, 2011)

Como tecnología constructiva propusimos el uso de mamposterías de BTC (mampostería de tierra estabilizada y comprimida). En estudios realizados en el Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATiC) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo-UNT, se concluyó que “es posible usar componentes constructivos de tierra cruda para la producción de muros con sistemas de mampostería en zonas de riesgo sísmico, con análogos comportamientos estructurales a la de los materiales convencionales.” (Alderete et al, 2006).

Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, puede utilizarse la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de proporciones de diferentes tierras y la estabilización química, en que se agrega un aditivo químico a la tierra, generalmente aglomerante tipo cemento o cal. (Neves et al, 2011).

Procedimiento de elaboración de los BTC: Previo a la construcción, se realizó la identificación y clasificación de la tierra disponible en la zona, así se determinó, mediante ensayos simples la mezcla óptima de tierra-cemento para alcanzar una eficiente estabilización con lo que se logró mejorar las propiedades finales de los componentes.

Teniendo en cuenta ensayos efectuados, logramos un suelo apto ser empleado mejorándolo mediante la adición de arena. La composición final del suelo utilizada fue: arcilla 10%, limo 20%, arena 70%.

1-Pulverización del suelo: el suelo fue desmenuzado hasta obtener una granulometría que pasara por una zaranda de 5 mm de orificio.

2-Mezclado del cemento con el suelo en seco: La dosificación que se utilizó es de 90% de suelo, 10% cemento. Este trabajo se efectuó en hormigonera de 130 lts. hasta obtener una distribución uniforme del cemento portland en el suelo.

3-Incorporación del agua y control de humedad: luego se incorporó a la mezcla la cantidad de agua necesaria hasta el contenido óptimo de humedad, con la que se obtuvo la máxima densidad al compactarla. La forma de controlar prácticamente la humedad óptima consiste en tomar un puñado de mezcla y apretarlo fuertemente, deberá tomar forma manteniendo ligadas sus partículas (cohesión) sin que se pegue a la mano ni escurra agua.

4-Fabricación del ladrillo empleando la máquina CINVA – RAM: La máquina consiste, fundamentalmente en un molde metálico, dentro del cual la mezcla de suelo y cemento portland es compactada mediante un pistón accionado por un mecanismo de palancas.

5-Curado de los ladrillos: Los bloques se cubrieron con plástico negro, manteniéndolos húmedos mediante riegos sucesivos de agua, durante siete días, luego se estacionaron en un lugar al abrigo del sol y las corrientes de aire durante 20 días para luego ser estibados en el depósito. Para la realización de los mampuestos de suelo-cemento, se hicieron los ensayos de compresión con 6%, 8% y 10% de cemento en la mezcla, en base a esos resultados se decidió la proporción de 10% de agregado de cemento. (Figuras 3-4-5-6 y 7).

Figuras 3-4- 5- 6 y 7- Fotografías del proceso de construcción de los mampuestos con CINVA-RAM.



Fuente: fotografías tomadas por el autor.

4-Resultados

Partido adoptado: En planta se propuso un partido funcional simple, resuelto en **U**, lo que permite además de zonificar actividades, la definición de un espacio central exterior delimitado en tres de sus lados por el edificio y por el farallón que actúa como una cuarta pared protegiéndolo de los fuertes y fríos vientos cordilleranos del oeste, conformando virtualmente el cierre del claustro, otorgando a la vez valor agregado, redefiniendo la relación recíproca entre el hombre y la naturaleza, ya que aparece magníficamente como telón fondo. (Figuras 8 y 9).

Figura 8 Gráfico de la fachada principal orientada al Oeste



Fuente: gráfico realizado por el autor.

Figura 9 Fotografía fachada principal de la escuela terminada

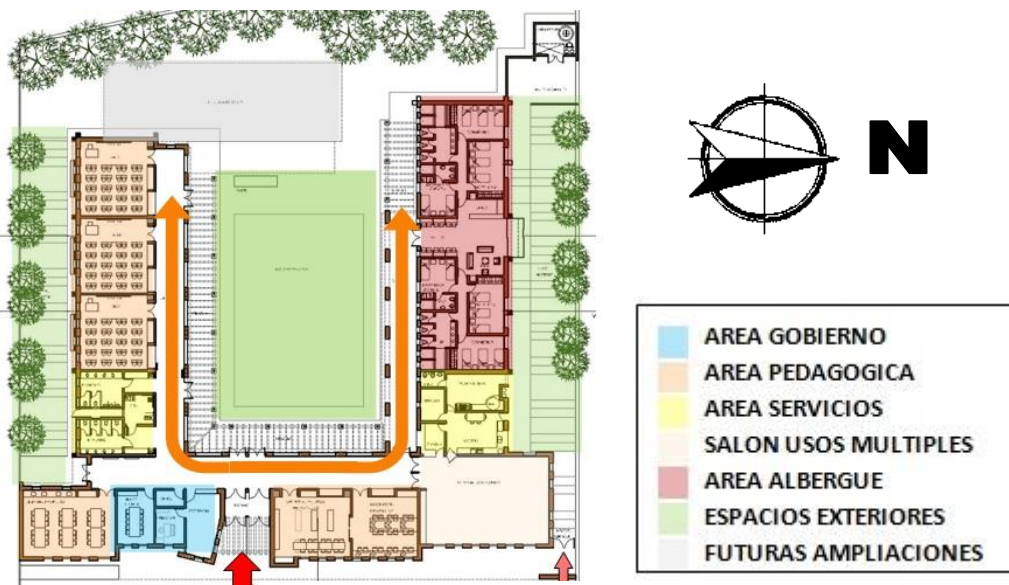


Fuente: fotografía tomada por el autor.

Además cuenta con dos ingresos secundarios independientes, para servicio y para albergue manteniendo así su autonomía.

El eje de circulación en U, articula y vincula los espacios de uso claramente definidos. (Figura 10).

Figura 10 Gráfico del partido arquitectónico.



Fuente: gráfico elaborado por el autor.

La ejecución de la obra se comenzó en septiembre de 2011, financiada por el Programa Nacional Mas Escuelas II préstamo BID 2424, gestionada, proyectada e inspeccionada a través de la Dirección de Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Catamarca.

Descripción de la envolvente

Antofagasta de la Sierra pertenece a zona sísmica 2, de moderada peligrosidad, por lo tanto, las mamposterías de suelo-cemento, se utilizaron sólo como cerramientos y siempre vinculados a estructuras independientes de H²A, no como mampostería portante.

Los muros exteriores tienen un espesor de 45 cm en total, están compuestos por doble mampostería de bloques de suelo cemento comprimido de 18x29x10 cm., asentados con dos partes de cal, una parte cemento y nueve partes de suelo (1:2:9), con aislación de 7 cm. de poliestireno expandido alta densidad 20 Kg/m³. La mampostería de suelo cemento se construyó por encima de un sobrecimiento de mampostería de piedra de la región, de 50 cm de espesor y 40 cm de altura sobre el nivel de piso terminado interior, la piedra evita el contacto de la mampostería de suelo-cemento con la humedad del suelo natural previniendo su deterioro. (Figuras 11 y 12).

Figura 11 Fotografía sobre-cimiento de piedra



Figura 12 Fotografía mampostería doble c/aislación



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor

El revoque se realiza del mismo material de los mampuestos y de la mezcla de asiento, con un espesor mínimo de 5 mm., lo que asegura una correcta adhesión.

La carpintería, es de aluminio por su alta hermeticidad y mínimo mantenimiento, es de vidrio doble laminado 3 + 3 mm. Los accesos principales incluyen puertas trampa a fin de limitar las pérdidas de calor por el continuo ingreso y egreso de personas.

La envolvente superior está compuesta por un cielorraso de madera. Como barrera de vapor se aplicó, una imprimación de tipo emulsión asfáltica. Luego se colocaron placas de poliestireno expandido alta densidad 20 kg/m³, de 7 cm como aislación térmica. Posteriormente se realizó una mezcla de suelo-cemento de 7cm, con dosaje 9:1(suelo, cemento). Para asegurar el fraguado eficiente de la mezcla, se lo protegió del sol y la lluvia, cubriéndolo con un manto de polietileno y se mantuvo el regado por 8 días. Como aislación hidrófuga, se colocó una membrana de polietileno de 4mm. y nuevamente una capa de suelo-cemento de 5 cm (teniendo en cuenta las mismas especificaciones llevadas a cabo en la primera capa). La terminación se ejecutó con membrana líquida de color terracota. Este elemento innovador se utilizó para mejorar la resistencia a la erosión eólica y pluvial. (Figuras 13-14-15 y 16).

Debido a que todas las envolventes verticales y horizontales, llevan aislación, excepto aquellas dimensionadas como colectoras (muro trombe), se obtiene un bajo Coeficiente de Transmitancia Térmica (K) de 0,33 W/m²K para muros y 0,37 W/m²K en techos. El procedimiento de cálculo se ha desarrollado con el programa CEEMAKMP.xls, el cual se basa en la metodología del cálculo de las Normas IRAM vigentes.

Figura 13 - 14 -15-16 Fotografías de ejecución de la cubierta de torta de barro s/estructura de madera.



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor

Es de fundamental importancia para climas fríos y en invierno, verificar la ausencia de condensación del vapor de agua, ya sea en forma superficial o intersticial (Gonzalo, 2009).

La falta de condensación se confirma en la simulación de ambas envolventes.

Sistemas pasivos de climatización:

- Ganancia directa: a través de ventanas orientadas al Norte (sector estudio y estar albergue) y al Este (comedor, área de gobierno y biblioteca). El área colectora se dimensiona en relación a un 20 % de superficie útil del local a acondicionar.
- Invernadero: recinto vidriado. El sol atraviesa los vidrios y calienta pisos y paredes interiores. La energía irradiada por estos se conserva en el ambiente. Se puede transferir éste calor a los espacios adosados a galería Norte a la par de las aulas o en el ingreso en el albergue. Es el caso. (Figura 18)
- Muro acumulador o trombe sector dormitorios albergue: Es una pared de superficie negra, color con un coeficiente de absorción del 95 % orientada al norte, cubierta del lado exterior con vidrio, generando una cámara de no más de 5 cm de espesor, con ventanillas regulables inferiores y superiores (1 % muro), que permiten la termocirculación del aire atrapado. El espesor de mampostería de suelo cemento es de 40 cm y le corresponde un K de 0,64 W/m²K. (Figura 18)

Para climas fríos, con una temperatura mínima media exterior anual de -3° C, se sugiere una relación de 0.43 a 0.78 de superficie colectora a superficie cubierta del local. (Collet, Maristany, 1995). Promediando estos valores, sería necesario un muro acumulador, equivalente al 60 % del área de piso (18 m²), o sea 10,8 m².

Finalmente se estima un área necesaria promedio de muros Trombe de 8,15 m², por cada dormitorio de alumno, mientras que 3 m² de ventanas aportan la ganancia solar directa restante.

Figura 17 Galería Norte expansión aulas



Figura 18 Fotografía muro trombe e invernadero



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor

Sistemas solares activos: Sólo se proponen para los servicios de electricidad y agua caliente en el albergue.

Para el cálculo de los colectores, se empleó el Mapa de Energías Renovables de la República Argentina (PROGRAMA MER 1.0). Permite hacer un mapeo del recurso solar y eólico y también posee la opción de realizaren cualquier parte del país un dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas y térmicas. (Tabla 3).

La radiación solar media anual que recibe una superficie horizontal en Antofagasta, es significativa de 19,22 MJ/m². Para el mes más crítico en invierno, el mes de Mayo, con temperaturas que pueden llegar a -8,2 °C, la radiación que recibe un colector es de 25,57 MJ/m², con una eficiencia de un 66 %, para invierno, por lo que deberá complementarse con algún otro sistema convencional. (Tabla 4) Como respaldo o fuente suplementaria de energía: los tanques acumuladores estarán provistos de una resistencia eléctrica.

Tabla 3- Cálculo de colectores para calentamiento de agua. **Tabla 4-** Cálculo de paneles fotovoltaicos

| Dimensionamiento Térmico | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| Mes | PHI(Wh/m2 día) | KT | KD | HORAS SDLI | PI(Wh/m2 día) | Tª MEDIA | % SDLAR |
| Enero | 6.338.40 | 0.53 | 0.43 | 13.96 | 5.422.17 | 25.40 | 1.15 |
| Febrero | 5.851.90 | 0.53 | 0.42 | 12.93 | 5.411.10 | 24.00 | 1.10 |
| Marzo | 4.814.96 | 0.50 | 0.42 | 12.14 | 4.988.67 | 22.40 | 1.00 |
| Abril | 3.880.88 | 0.50 | 0.41 | 11.31 | 4.623.63 | 18.10 | 0.84 |
| Mayo | 3.002.40 | 0.49 | 0.41 | 10.62 | 4.080.71 | 13.20 | 0.66 |
| Junio | 2.543.70 | 0.46 | 0.41 | 10.26 | 3.688.64 | 9.40 | 0.54 |
| Julio | 2.796.68 | 0.48 | 0.40 | 10.41 | 3.957.69 | 9.70 | 0.58 |
| Agosto | 3.616.78 | 0.52 | 0.39 | 11.00 | 4.596.01 | 12.90 | 0.72 |
| Septiembre | 4.545.30 | 0.52 | 0.40 | 11.79 | 5.002.15 | 15.10 | 0.82 |
| Octubre | 5.610.04 | 0.54 | 0.40 | 12.62 | 5.419.88 | 21.00 | 1.02 |
| Noviembre | 6.199.40 | 0.54 | 0.42 | 13.36 | 5.427.22 | 23.70 | 1.10 |
| Diciembre | 6.430.14 | 0.53 | 0.43 | 13.74 | 5.390.17 | 25.70 | 1.15 |

| DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--|--|
| Mes | MJ/m2 día | KT | KD | RB | P-INC | HSP | N-PANELES | | |
| Enero | 22.80 | 0.53 | 0.43 | 0.83 | 20.36 | 5.66 | 2.42 | | |
| Febrero | 21.05 | 0.53 | 0.42 | 0.93 | 20.06 | 5.57 | 2.45 | | |
| Marzo | 17.32 | 0.50 | 0.42 | 1.10 | 18.16 | 5.05 | 2.71 | | |
| Abril | 13.96 | 0.50 | 0.41 | 1.32 | 16.49 | 4.58 | 2.98 | | |
| Mayo | 10.80 | 0.48 | 0.41 | 1.55 | 14.21 | 3.95 | 3.46 | | |
| Junio | 9.15 | 0.46 | 0.41 | 1.68 | 12.77 | 3.55 | 3.85 | | |
| Julio | 10.06 | 0.48 | 0.40 | 1.62 | 13.75 | 3.82 | 3.58 | | |
| Agosto | 13.01 | 0.52 | 0.39 | 1.42 | 16.23 | 4.51 | 3.03 | | |
| Septiembre | 16.35 | 0.52 | 0.40 | 1.19 | 18.05 | 5.01 | 2.72 | | |
| Octubre | 20.18 | 0.54 | 0.40 | 0.99 | 19.96 | 5.54 | 2.46 | | |
| Noviembre | 22.30 | 0.54 | 0.42 | 0.86 | 20.30 | 5.64 | 2.42 | | |
| Diciembre | 23.13 | 0.53 | 0.43 | 0.80 | 20.31 | 5.64 | 2.42 | | |

| Datos de entrada | | | |
|--------------------------------------|-----|------------------------------|------|
| Temperatura de agua deseada (°C) | 45 | Ko = TA = (Perdidas óticas) | 0.76 |
| Litros por persona a calentar (Lts.) | 50 | Kp = U = (Perdidas térmicas) | 6.5 |
| Cantidad de personas | 14 | Area de colectores (m2) | 8 |
| Inclinación del colector (Grados) | 36 | | |
| Albedo | 0.3 | | |

| Datos de entrada | | | Eficiencias | | |
|--------------------------------------|-----|---------------------------------------|-------------|----------------------|-------|
| Consumo diario (Wh/m2) | 650 | Potencia pico (W/m2) del panel a usar | 80 | Controlador de carga | 0.95 |
| Nivel de descarga de las baterías(%) | 30 | Capacidad de las baterías en AH(12V) | 220 | Batería | 0.8 |
| Albedo | 0.3 | Dias Nublados | 1 | Inversor | 0.9 |
| | | Inclinación del panel | 30 | Total del sistema | 0.684 |

| Resultados | |
|--------------------|------|
| Numero de Baterías | 0.99 |

Nota: Si el sistema no posee inversor, la eficiencia de mismo debe establecerse a 1.
Nota: Los valores son calculados con los valores de radiación solar en plano horizontal a menos que la inclinación no sea cero.

El agua caliente será suministrada por los 8 m² de colectores solares tipo planos, orientados al norte para la mejor captación en invierno, con una tolerancia de 20° e inclinados con un ángulo igual a la latitud del lugar más 10°. En el caso de la Villa 26°+10= 36°. (Figura 19).

El tanque de almacenamiento posibilita cierta cantidad de agua caliente de reserva, para regular el consumo en casos de dificultad de captación solar. El agua caliente (45°) proveniente de los colectores se almacena en dos tanques acumuladores de 435 lts. cada uno, conectados en serie. Se emplea el sistema de circulación por termosifón, donde el tanque acumulador se ubicará por encima del colector.

Se colocaron 4 módulos fotovoltaicos, policristalinos de alto rendimiento, potencia nominal 80 W, (Figura 20).

Figura 19 Colector solar plano y tanque

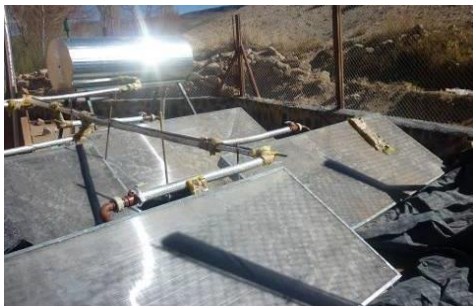


Figura 20 Paneles fotovoltaicos



Figura 21 Cocina solar



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor.

Los alumnos de la escuela Secundaria N°39 de Antofagasta de la Sierra disfrutaron, desde septiembre de 2012, de su edificio sustentable. (Figuras 22).

Figura 22 Fotografía de aérea de la escuela terminada



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor

5-Conclusiones

Mediante la incorporación de aislación térmica en la envolvente, la construcción de muro Trombe combinados con la ganancia directa por ventanas e invernadero, los colectores solares calentadores de agua y fotovoltaicos, se logra un diseño de edificio energéticamente eficiente que aprovecha la energía del sol y de menor impacto ambiental que uno convencional.

El ahorro energético proporcionado por la combinación de la aislación térmica de las envolventes y la acumulación del calor en las masas de paredes y pisos en un clima tan riguroso como el de Antofagasta de la Sierra es un ejemplo concreto en favor del uso racional de la energía en la obra pública en la región.

La incorporación de suelo-cemento en casi todo el edificio permite no solo condiciones térmicas, larga durabilidad y adaptación al entorno, si no también edificios escolares de bajo costo pues es un material fácil de conseguir y que ahorra costos de transporte, no crea polución ni utiliza grandes cantidades de energía durante su fabricación. Las paredes de tierra poseen una buena inercia, siendo esto una condición recomendable de diseño, para climas continentales con grandes amplitudes térmicas, minimizando la necesidad de acondicionamiento de los locales.

Se plantea como futuro trabajo, el monitoreo térmico de la Escuela Secundaria N° 39, sea en condiciones reales de uso, o a través de la simulación con el programa Simedif, para determinar si las temperaturas interiores de los locales se encuentran en el rango de confort.

6-Bibliografía

- Alderete C., Sosa M., Arias L. E., Mellace R. F., Latina S. M., Ferreyra I. C. (2006) "Mampostería con tierra estabilizada comprimida" Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATiC) Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán.
- Collet, L.E., Maristany A.R. (1995) Diseño Bioclimático de Viviendas, Ediciones Eudecor, Córdoba.
- Cúnsulo M., Kurbán A., Papparelli A., Montilla E., Ortega A., Ripoll V. (2008) "Evaluación térmica de escuela de educación especial en zona árida" Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- Esteves A., Gelardi D. (2003) "Docencia en arquitectura sustentable: programa de optimización de proyectos de arquitectura basado en el balance térmico" Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, N° 2, pp 10.31-10.34. ISSN 0329-5184.

- Eudes Quispe Juan, Condolí Juan, Gutiérrez Gregorio, Guzmán Hipólito, Calpanchay René, Mamani Jorge, Schilman Mariano, Reisner Daniela, Barada Julieta, Tommei Constanza, Nani Evelin, Corrales Barboza Fernando, Yacuzzi Paula, Tsuji Agustina, Cristillo Leonardo, Daich Leandro y Palacios Tomás (2011)- Puna y Arquitectura: Las formas locales de construcción- 1° Edición CEDODAL, Buenos Aires-
- Givoni, B (1969) "Man, Climate and Architecture" (Hombre, clima y arquitectura) Elsevier Publishing Company Limited, England.
- Gonzalo, Guillermo E. (2009) "Manual de Arquitectura Bioclimática y Sustentable", Tucumán - ISBN 950-43-9028-5
- Hernández, A (2003) "Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria" ASADES 2003, Argentina.
- IRAM (1996) - Norma 11603 - Acondicionamiento térmico de edificios, clasificación bioambiental de la República Argentina.
- Ministerio de Educación, Viceministerio de Gestión Institucional, Oficina de Infraestructura Educativa, (2008) Lima, Perú "Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos" Coordinador del equipo de estudios, normas y diseño de la OINFE: arq. José Miguel Núñez Idiáquez.
- Neves C., Borges Faria O., organizadores (2011) "Técnicas de construcción con tierra" –Bauru: FEB-UNESP PROTERRA-Varios autores -ISBN 978-85-64472-01-3.

Autores

Erika Walter es Arquitecta, Jefa de Departamento Proyectos de la Dirección de Proyectos Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Catamarca, Argentina. Especialista en Gestión de la Infraestructura Educativa, GIE-FADU-UBA. eriwalter@gmail.com.

Matías Agüero es Arquitecto, proyectista de la Dirección de Proyectos Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Catamarca. Profesor titular Arquitectura II en el Instituto Terciario Gral. San Martín, Catamarca, Argentina. matias.aguero@hotmail.com.

María Gabriela Watkins es Arquitecta, proyectista de la Dirección de Proyectos Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Catamarca, Argentina. Especialista en Arquitectura Bioclimática, FACEN UNCA. malilawatkins@yahoo.com.ar.

Gabriela Mansilla es Arquitecta, proyectista de la Dirección de Proyectos Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Catamarca, Argentina. Especialista en Gestión de la Infraestructura Educativa, GIE-FADU-UBA. arqgmansillatorres@gmail.com.

Comportamiento térmico energético de viviendas urbanas en Mendoza y propuestas para alcanzar las bases de NZEB.

María Rosario Flores Cáceres¹, Alfredo Esteves¹, Celina Filippín², Silvana Flores Larsen³

Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento térmico energético anual de dos viviendas urbanas, una tradicional y otra solar pasiva, ubicadas en zonas de baja densidad en la provincia de Mendoza, y aplicar en ambas los requisitos para alcanzar el concepto de edificio de energía cero (NZEB, net zero energy building). La metodología consiste en el monitoreo térmico, análisis de consumos energéticos, evaluación de la envolvente y balance térmico. La temperatura interior promedio de la vivienda solar fue de 19,7°C y un consumo promedio diario de energía convencional de 24,8 kWh en calefacción; mientras que en la vivienda tradicional, fue de 23,9°C y 52,8 kWh respectivamente. Se propone reducir el consumo energético de la vivienda no solar mediante la incorporación de estrategias bioclimáticas y se dimensionan para ambas, sistemas de generación de energía eléctrica y térmica a partir de fuentes de energías renovables. Se determina el costo de las mejoras propuestas para conocer las posibilidades energéticas y la demanda económica de su implementación, que permitirán alcanzar las bases de NZEB.

Palabras clave: comportamiento térmico energético, arquitectura bioclimática, edificio de energía cero.

Energy thermal behavior of urban housing in Mendoza and proposals for achieving NZEB bases.

Abstract

The aim of this study is to evaluate the energy thermal behavior of two houses: a traditional one and a passive solar the other, located in areas of low density in the city of Mendoza, and apply the requirements to achieve in both the concept of NZEB, net zero energy building on an annual basis.

The methodology consists in thermal monitoring in order to know comfort temperature, the analysis of energy consumption, evaluation of the quality of envelope elements and annual energy balance.

¹Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - INCIHUSA-CCT CONICET Mendoza C.C. 131- CP 5500 Mendoza-Argentina.

²CONICET La Pampa C.C. 302- 6300 Santa Rosa, La Pampa- Argentina.

³Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales INENCO-Universidad Nacional de Salta-CONICET Avda. Bolivia 5150 CP 4400 Salta-Argentina.

The average temperature inside the housing was 19.7°C in solar house and average daily auxiliary energy consumption of 24.8 kWh in heating, while in conventional house was 23.9 °C and 52.8 kWh respectively. In order to reduce the energy consumption it propose different technology solution and it is presented the result of such implementation. The paper indicates the results and the costs of such implementation in order to achieve NZEB basis.

Keywords: energy thermal behavior, bioclimatic architecture, zero energy building.

Introducción

El desarrollo sostenible en el sector residencial consiste en proyectar edificaciones enfocadas en el uso racional de la energía, aprovechamiento de energías limpias y renovables con el objetivo de mantener el confort térmico y producir una reducción significativa y/o eliminar las emisiones atmosféricas producidas por el edificio. Una forma de llevar a cabo este desarrollo es con arquitectura bioclimática, gracias a la cual, un edificio aprovecha al máximo los recursos climáticos disponibles mediante sistemas eficientes de iluminación natural, calefacción, ventilación, acondicionamiento del ambiente y se agrega también el calentamiento solar de agua sanitaria. Además, se puede generar energía eléctrica para cubrir el consumo en equipamiento, por medio de sistemas de energías renovables (ER) (Hernández et al., 2010).

A partir de la arquitectura bioclimática, surge la posibilidad de tender hacia un balance cero de energía, como son los denominados edificios de energía neta cero (NZEB, net zero energy building). Un NZEB se basa en dos principios de diseño: uno, reducir al mínimo la necesidad de uso de energía a través de estrategias de eficiencia energética y conservación de energía; y, otro, la adopción de ER y otras tecnologías para satisfacer las necesidades energéticas (Danny et al., 2013; Sartori et al., 2010). Es un edificio muy eficiente energéticamente, algunos autores afirman que implica un balance de energía neto cero en todo su ciclo de vida, durante las etapas de construcción, operación y demolición (Pacheco et al., 2013; Torcelini et al., 2006) mientras que otros recomiendan usar un período anual, teniendo en cuenta que el consumo energético de un edificio residencial se repite anualmente. Se considera como indicador numérico de la energía del edificio kWh/m².año. (Booth et al., 2010). En este trabajo se adopta esta última acepción.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es estudiar la implementación del concepto de NZEB en dos viviendas urbanas ubicadas en zonas de baja densidad en la provincia de Mendoza. Y evaluar posteriormente el costo de la aplicación de las tecnologías para alcanzar ese concepto en una base anual.

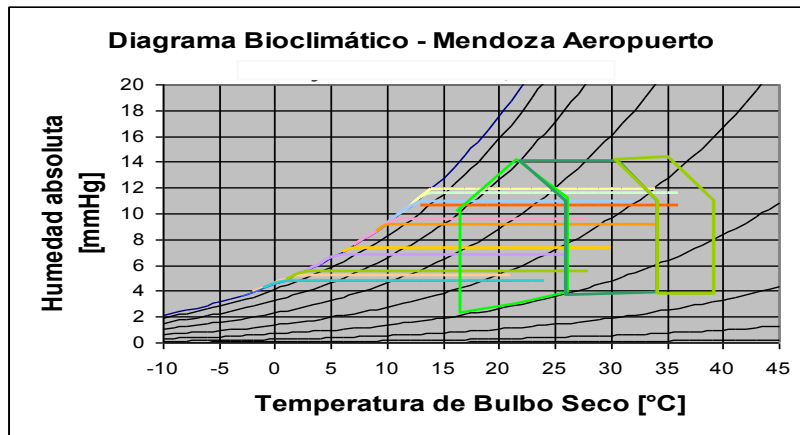
Metodología

- En dos viviendas urbanas, una tradicional, caso A y una solar, caso B, se realiza: monitoreo térmico, análisis de consumos energéticos, evaluación de la envolvente y balance térmico, y diagnóstico.
- Se propone reducir el consumo energético de la vivienda no solar mediante la incorporación de estrategias bioclimáticas.
- Se dimensionan para ambas, sistemas de generación de energía eléctrica y térmica a partir de fuentes de energías renovables que permitirán alcanzar las bases de NZEB.
- Se determina el costo aproximado de la incorporación de los sistemas para los casos A y B.

Descripción del clima

Mendoza se ubica en el centro-oeste de Argentina, (Latitud 32°52'; Longitud 68° 47'; Altitud 714 msnm). La temperatura media anual es de 16.5°C con presencia de gran amplitud térmica (media mensual de 14-16°C). La radiación solar es típica de zonas semidesérticas con un valor anual de 18.4 MJ/m².día. La figura 1 muestra el diagrama bioclimático para la Ciudad de Mendoza. Se observa la conveniencia de uso de masa térmica y sistemas solares pasivos de calefacción y enfriamiento.

Figura 1. Diagrama Bioclimático para Mendoza.



Fuente. Esteves 2006

Casos de estudio

Vivienda tradicional - Caso A: La vivienda presenta una tipología compacta de 209,85 m² organizados en tres niveles, sobre un lote de 10 x 22m. El proyecto arquitectónico comprende un subsuelo utilizado como SUM, en la planta baja un hall de acceso, estar comedor, cocina comedor, sala de estudio y baño; y en la planta alta un hall, cuatro dormitorios y un baño (ver figura 2). Los detalles de la envolvente se muestran en la figura 3, la vivienda no posee aislaciones en muros y las carpinterías permiten un elevado grado de infiltraciones debido a sus características técnicas. Es de destacar que la colindancia con la vivienda vecina es tal que se impide totalmente la disposición de aventanamientos hacia el Ecuador, que podrían ser potencialmente colectores de energía solar.

Los usuarios son cinco y cumplen horarios similares, se retiran en horas de la mañana y regresan luego del mediodía. Durante la ausencia de los usuarios, los calefactores se colocan en piloto.

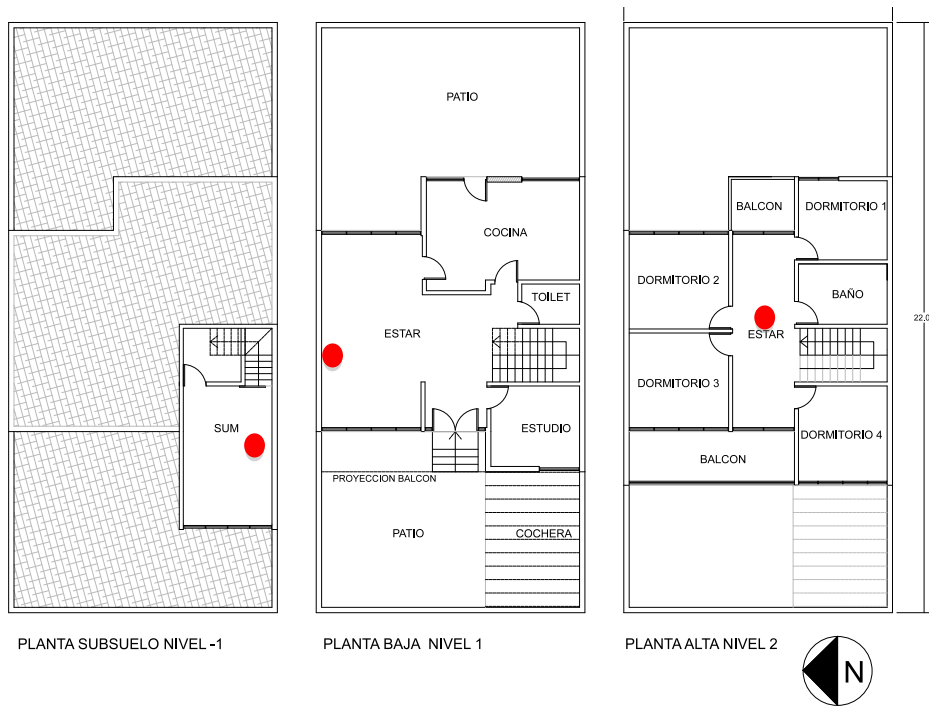
El total de la envolvente expuesta es de 209,08 m², con un FAEP muy reducido de 1,0 m²/m² y Factor de Forma – FF = 0,41 m⁻¹. Las conductancia de los elementos son $k_{\text{techos}}=0,87 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$; $k_{\text{muros}}= 2,41 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$; $k_{\text{ventanas}}=4,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ y $k_{\text{puertas}}=1,82 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$

Vivienda solar - Caso B: La vivienda posee 138 m² cubiertos. Su planta obedece a la tipología de Chalet, con quiebres de techos. Posee tres dormitorios, un estudio, un estar-comedor, cocina-lavandería y dos baños. La figura 4 muestra la planta del edificio, como se puede observar, la misma es longitudinal en sentido Norte-Sur, pero con excesivos quiebres. La figura 5 muestra los detalles de la tecnología de la envolvente. La forma y la altura de la vivienda, la hacen poco racional, con una envolvente expuesta de 456,2 m². Los indicadores resultan FAEP = 3,7 m²/m²; FF = 1,02 m⁻¹.

Las conductancias son para $k_{techos}=0,74 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$; $k_{muros}= 0,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$; $k_{ventanas} = 3,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$; $k_{puertas}= 2,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$

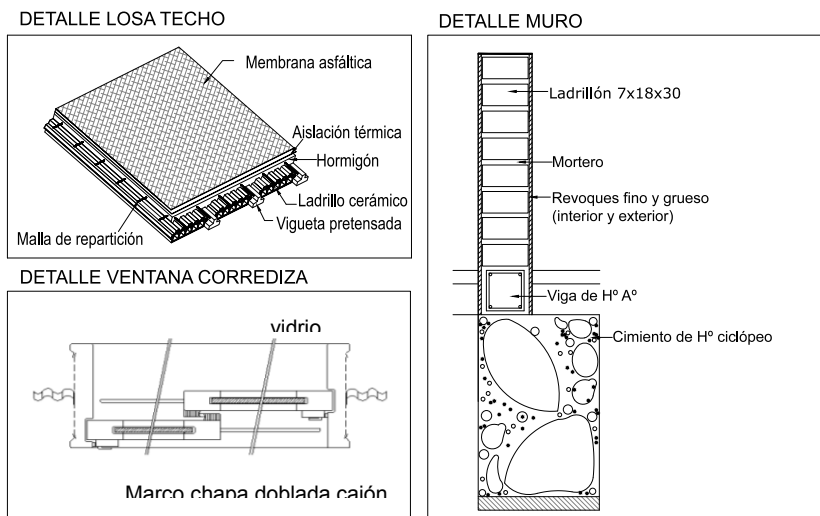
Los techos se componen de cielorraso de madera de pino (espesor 2,5 cm), barrera de vapor de ruberoid al 200% y teja francesa. La inclinación del techo es de 20° al N. Los muros son de ladrillón (espesor 18 cm) con junta tomada por el interior. Por el exterior posee barrera de vapor, aislamiento térmico de poliestireno expandido (espesor 4,5 cm), revoque de hormigón y revestimiento plástico. Las carpinterías son de chapa de acero plegada, de simple vidrio y contacto con burletes. Posee aislación nocturna, la que servirá luego de sombreado en verano y época intermedia.

Figura 2. Plantas del caso A con ubicación de sensores de registro de temperaturas.



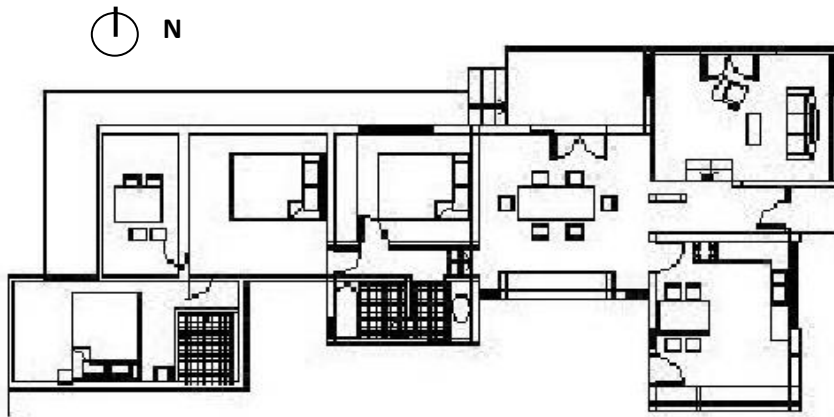
Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Detalles constructivos de la envolvente Caso A



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Planta del edificio reciclado



Fuente: Esteves 2006.

Figura 5. Detalles constructivos de la envolvente Caso B.

Colocación de la aislación térmica: 1- unión al muro con alfajías de álamo y con malla SIMA; 2- detalle de colocación de malla SIMA 4.2 mm; 3- detalle de la esquina; 4- muro terminado.



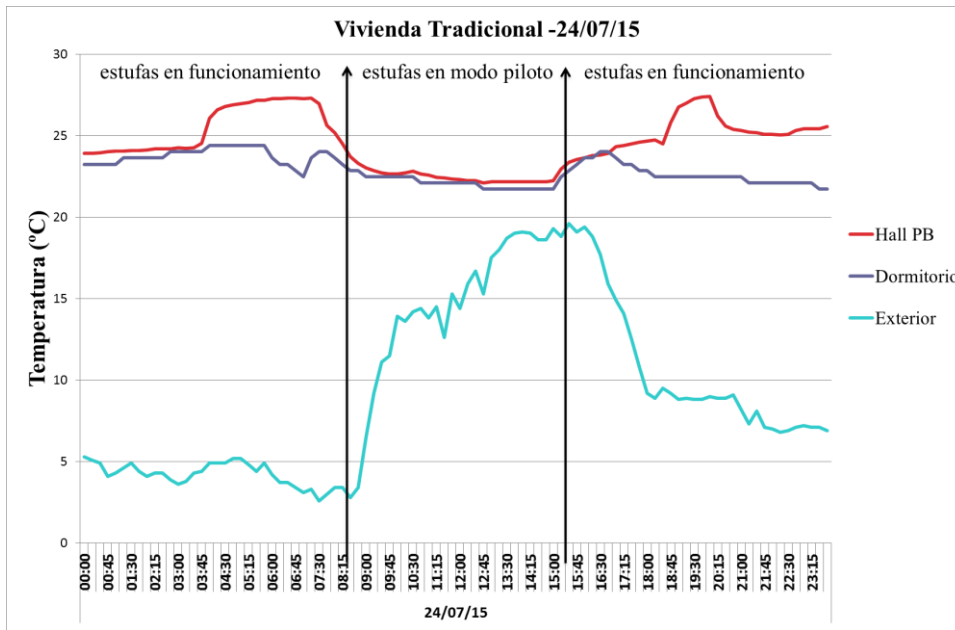
Fuente: Esteves 2006

Monitoreo térmico

La evaluación térmica se llevó a cabo con mediciones in-situ de temperatura de los locales representativos, con sensores de temperatura y humedad (dataloggers HOBO), registrando las mismas con un intervalo de tiempo de 15 minutos. En el caso A para un período del 23 al 31/06/2015. También se registró temperatura exterior. Se considera el día 24 como significativo para detallar el comportamiento térmico de la vivienda (ver figura 6).

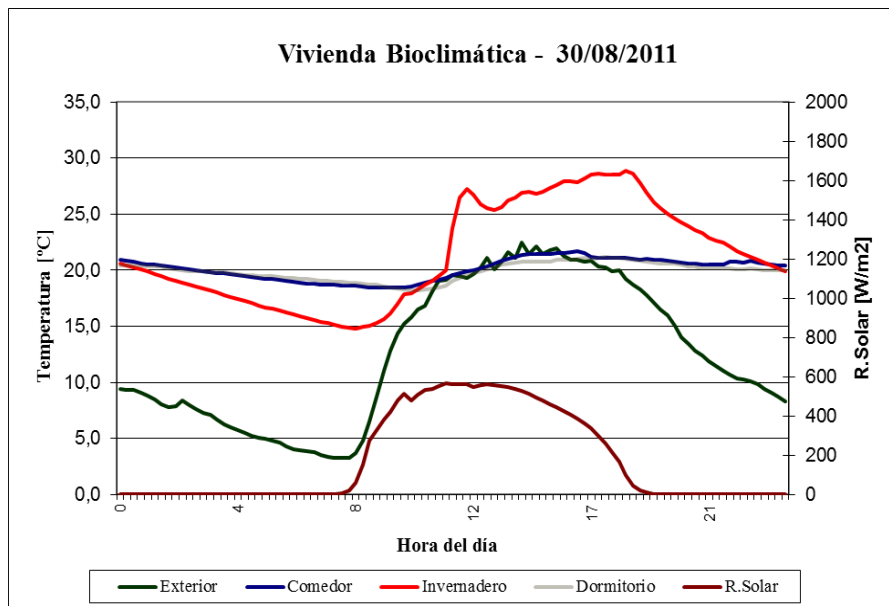
Para el caso B, las temperaturas medidas corresponden al período del 29/08/2011 al 05/09/2011, y se midieron temperaturas en el estar-comedor, dormitorio al N, Invernadero adosado (sistema solar pasivo) y temperatura exterior. Los datos de radiación solar se toman de mediciones realizadas en el Taller Experimental INCIHUSA. Se grafica un día tomado de testigo para determinar la temperatura interior (ver figura 7)

Figura 6. Temperaturas interior y exterior en el caso A. Valores para el día 24/07/2015



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Temperaturas interior y exterior en el caso B. Valores para el día 30/08/2011



Fuente: Esteves 2006.

De la observación de las figuras 6 a 7 se puede indicar lo siguiente:

- La vivienda tradicional tiene períodos de calefacción auxiliar muy marcados durante el día, antes de las 8:00 h y posterior a las 17:00 h. dado que los usuarios se ausentan durante esas horas y las estufas quedan en piloto. Las temperaturas medias resultan 25,2°C para el estar y 22,6°C para el dormitorio, con un promedio de 23,9 °C.
- Se observa que la transmitancia térmica es elevada al colocar las estufas en piloto (a las 8.00 h) la caída de temperatura es tal, que resulta un gradiente de 3,23°C/h, luego de lo cual, se va disminuyendo (el gradiente) emparejándose con la temperatura del dormitorio.

- La vivienda solar, al contrario posee temperaturas muy parejas oscilando entre 18,4 °C y 21,0°C con un gradiente de 0,2°C/h. Esto es fruto de las mejores condiciones de conservación de energía y el aprovechamiento de la masa térmica de la mampostería.
- Se observa también en la vivienda solar, el comportamiento del invernadero adosado, en su calidad de sistema solar pasivo de calefacción, habida cuenta que provee una cantidad de calor importante al espacio, que adolece del encendido de la estufa, las que permanecen en piloto (tanto la del estar como la del pasillo de los dormitorios).

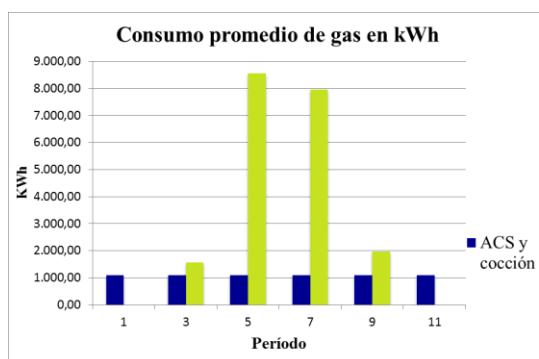
Análisis de consumos energéticos

Se presenta a continuación el consumo energético total de cada vivienda, tomando en cuenta que poseen conexión a la red de gas natural y a la red eléctrica. El consumo de gas natural se utiliza para calentamiento de agua sanitaria, cocción y calefacción. El consumo de energía eléctrica se utiliza para operación de artefactos, iluminación artificial y en el caso de la vivienda tradicional, para el accionamiento de un aire acondicionado de forma esporádica.

Para discriminar lo utilizado en ACS y cocción se tomaron como referencia los meses de verano, durante los cuales, no se calefacciona la vivienda, el promedio de esos valores se le restó a los meses invernales, dando como resultado el consumo de energía para calefacción.

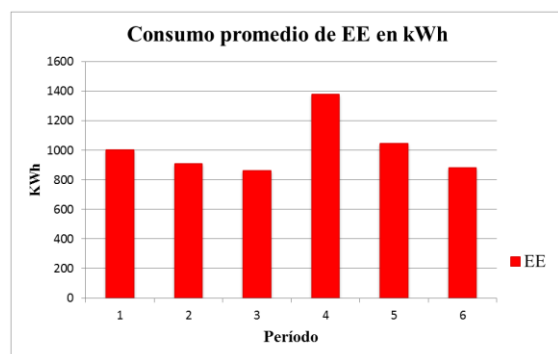
Caso A: El consumo promedio total anual de gas fue de 26.914,16 kWh, 19.271,29kWh en calefacción y 6.607,65 kWh en Agua Caliente Sanitaria ACS y cocción (ver figura 8), y de energía eléctrica EE 5.684,80kWh, un total de 32.598,96 kWh/año (ver figura 9). Lo que implica un valor de 155,2 kWh/m².año por superficie cubierta y casi el mismo valor de las pérdidas por superficie de envolvente, 155,9 kWh/m².año.

Figura 8. Caso A, consumo por bimestre de gas para calefacción y para agua caliente y cocción de alimentos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Caso A, consumo por bimestre de EE para iluminación y equipamiento de la vivienda.



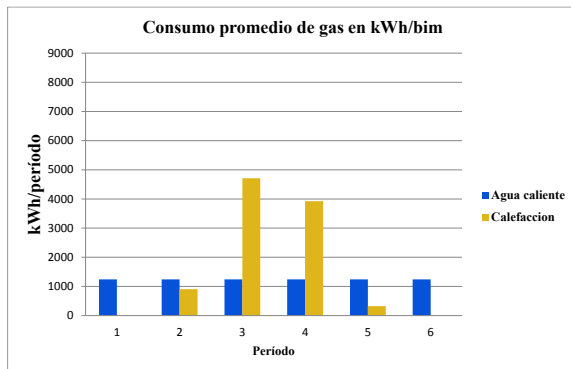
Fuente: Elaboración propia

Caso B: El consumo promedio total anual de gas fue de 17.445,4 kWh, 9.866,4 kWh en calefacción y 7.456,5 kWh en Agua Caliente Sanitaria (ACS) y cocción (ver figura 10), y de energía eléctrica EE 3.149,5 kWh, un total de 20.594,9 kWh/año (ver figura 11). Lo que implica un valor de 124 kWh/m².año y las pérdidas por superficie de envolvente son: 53,64 kWh/m².año.

Ante los valores de consumo de cada uno de las viviendas se puede indicar lo siguiente:

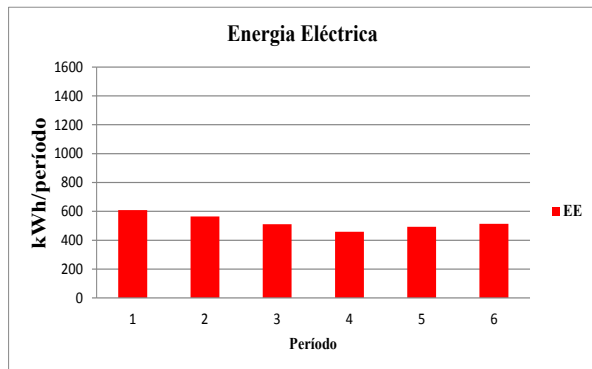
- Se observa un patrón de consumo muy similar en ambas viviendas, que se compone de un período fuerte de consumo para calefacción, esencialmente los bimestres correspondientes a los meses 5-6 y 7-8 en ambos casos donde el consumo de gas, se eleva varias veces respecto del consumo en el resto del año (para calentamiento de agua y cocción de alimentos): 8 veces en la vivienda tradicional y 4 veces en la vivienda solar.
- La vivienda tradicional tiene una potencia insuficiente en los equipos de gas, por lo que requiere un calentamiento adicional que se realiza con energía eléctrica que aparece en el bimestre correspondiente al mes 7-8.
- El consumo de energía eléctrica resulta mayor en la vivienda tradicional respecto de la vivienda solar en un 66%. Esto seguramente se debe a la mayor iluminación natural de la vivienda solar con orientación N que la vivienda tradicional cuyas ventanas se encuentran en dirección E y O y tienen aleros extendidos, lo que dificulta que el recurso lumínico se pueda aprovechar.
- Se observa que la presencia de aislamiento térmico en muros reduce los consumos en calefacción al punto de llegar a ser comparable al consumo por agua caliente, tomando una base anual.

Figura 10. Caso B, consumo de gas natural por bimestre para calefacción, calentamiento de agua y cocción de alimentos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Caso B, consumo por bimestre de EE para iluminación y equipamiento de la vivienda.



Fuente: Elaboración propia

Balance térmico

Los resultados reflejan la elevada cantidad de energía convencional que se necesita para alcanzar la temperatura de confort para el caso A.

La Tabla 1 muestra los valores iniciales y con mejoras bioclimáticas para el Caso A (Flores Cáceres et al., 2015) y se toma el Caso B tal como se encuentra actualmente (Esteves et al., 2013). Se indica el valor de consumo específico de energía consumida por unidad de superficie cubierta de la vivienda.

Cuando la envolvente mejora sus características conservativas, disminuyen las pérdidas térmicas y por lo tanto disminuye el calor auxiliar anual. Se puede observar en la Tabla 1 que al implementar las estrategias bioclimáticas al Caso A, se reduce un 50% el CNP, un 53,3% el QAA y un 43,5% la potencia necesaria de calefacción.

Costo de las estrategias

Se determina el costo de la incorporación de estrategias para optimizar la vivienda y generar la energía suficiente para cumplir en un ciclo anual, el concepto de NZEB. La tabla 2 muestra esta situación para la vivienda del Caso A.

Se realiza también el análisis para el caso B (Tabla 3), calculando el costo para los equipos necesarios para cubrir la cantidad de energía que se consume en la vivienda y de este modo, poder alcanzar en el ciclo de un año, la base de NZEB.

Tabla 1. Consumos reales y resultados del balance térmico en las viviendas

| Método | Variable | Caso A | Caso A con mejoras | Valor específico (kWh/m ² . año) | Caso B | Valor específico (kWh/m ² . año) |
|---------------------------------|--|----------|--------------------|---|---------|---|
| Balance térmico invierno | CNP- Coeficiente Neto de Pérdidas (W.°C) | 656,69 | 304,06 | --- | 451,3 | --- |
| | Potencia Necesaria de calefacción para 1745°C/día(Kcal/h) | 18.948,4 | 10.696,00 | --- | 9.030 | --- |
| | QAA-Energía auxiliar anual (kWh/año) | 27.354,0 | 12.756,76 | 60,7 | 9.066,8 | 65,7 |
| Consumo de energía real | Consumo de energía auxiliar anual en calefacción (kWh). | 19.871,3 | 12.756,76 | 60,7 | 9.866,4 | 71,5 |
| | Consumo de energía anual para calentamiento de agua y cocción (kWh/año). | 6.607,6 | 6.607,65 | 31,5 | 7.456,6 | 55,6 |
| | Consumo de energía eléctrica anual para equipamiento (kWh/año). | 5.684,8 | 5.684,8 | 27,2 | 2.924,5 | 24,7 |

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Se observa que la inversión necesaria para adecuar la vivienda tradicional resulta ser del orden de 2,6 veces más que una vivienda solar para alcanzar la energía neta cero anual. Esto a pesar del mayor grado de exposición de la vivienda solar FAEP= 3,7 respecto de aquella que posee un FAEP= 1,0.

Resulta alrededor del 37,8% en el caso de la vivienda tradicional para generar un ahorro del orden del 50%, mientras que en la vivienda solar, con una inversión del 23,4% se genera un ahorro del 30% adicional al ahorro que ya poseía.

Las estrategias bioclimáticas ofrecen una eficiencia mucho mayor con inversiones sustancialmente menores que los sistemas activos o fotovoltaicos.

Tomando en cuenta un valor de venta actual de la vivienda, la inversión adicional necesaria ronda aproximadamente el 8% en la vivienda tradicional y el 3,8% en la vivienda solar (Verstraete et al., 1993).

Conclusiones

Existen en Mendoza edificaciones con características similares, gracias a este trabajo se sostiene que se pueden mejorar los edificios urbanos que no tengan orientación norte para ganancia solar, mediante posibilidades tecnológicas existentes como las propuestas en este trabajo.

Si se contempla al edificio como un sistema integrado, y se le incorporan tecnologías que mejoren la calidad “térmica”, reacciona todo el sistema, ocasionándose ahorros de energía, que generan también un ahorro económico, que amortiza el costo inicial derivado de su implementación (Verstraete et al 1993) y que producen un bajo impacto ambiental.

Se demuestra en ambos casos la posibilidad de alcanzar una base de NZEB en viviendas ya construidas con una inversión relativamente pequeña respecto del costo de la vivienda.

Tabla 2. Costo de las estrategias para la vivienda tradicional – Caso A.

| Estrategias Bioclimáticas | Objetivos | Sistemas | Especificaciones técnicas | Cantidad | Costo Materiales |
|--|---|---------------------------|--|---------------------|------------------|
| Estrategia Pasiva de Conservación de energía | Aislación techos para un $K=0,42\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ | Poliestireno expandido | Espesor=0,10m | 89,18m ² | \$8.026,20 |
| | Aislación muros para un $K=0,47\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ | Poliestireno expandido | Espesor=7,5cm | 47,32m ² | \$4.258,80 |
| | Reemplazo de aventanamiento para un $K=3,60\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ | Ventanas corredizas | Carpintería aluminio DVH, herrajes y tapajuntas perimetrales, Cristales de 5mm | 33,70m ² | \$76.341,60 |
| Estrategia Activa | Calentamiento de agua sanitaria | Colectores solares planos | Área= 2,03 m ² Composición= parrilla de cobre con aletas aluminio, aislación de poliuretano de 30 mm. Caja exterior= aluminio anodizado. Cubierta exterior = policarbonato alveolar. Depósito interacumulador= acero inoxidable con aislación de poliuretano. | 8 un | \$60.000 |
| | Calefacción solar | Tanque acumulación | Capacidad=1300 litros. Diámetro= 1,15 m Altura= 3,02 m | 1 un | |
| Sistema de ER | Generación de energía eléctrica | Paneles fotovoltaicos | Potencia=145Wp c/u Sistema inversor= acopla el sistema con la red eléctrica convencional= convertidor de 24V/220V | 36 un | \$88.200 |
| | | | | | \$236.826,60 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Costo de las estrategias para la vivienda solar– Caso B.

| Estrategias Biodinámicas | Objetivos | Sistemas | Especificaciones técnicas | Cantidad | Costo Materiales |
|--|--|---------------------------|--|---------------------|------------------|
| Estrategia Pasiva de Conservación de energía | Aislación techos para un Ktechos= 0,37W/m ² .°C | Poliestireno expandido | Espesor= 0,05m | 134m ² | \$6.042 |
| | Reemplazo de aventanamiento para un Kvent= 2,50 W/m ² .°C | Ventanas corredizas | Carpintería aluminio DVH, herrajes y tapajuntas perimetrales, Cristales de 5mm | 22,40m ² | \$14.910 |
| Estrategia Activa | Calentamiento de agua sanitaria | Colectores solares planos | Área= 2,03 m ² Composición= parrilla de cobre con aletas aluminio, aislación de poliuretano de 30 mm. Caja exterior= aluminio anodizado. Cubierta exterior = policarbonato alveolar. Depósito interacumulador= acero inoxidable con aislación de poliuretano. | 3 un | \$24.000 |
| | Calefacción solar | Tanque acumulación | Capacidad=400 litros. | 1 un | |
| Sistema de ER | Generación de energía eléctrica | Paneles fotovoltaicos | Potencia=145Wp c/u Sistema inversor= acopla el sistema con la red eléctrica convencional= convertidor de 24V/220V | 18 un | \$44.100 |
| | | | | | \$89.052 |

Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

- Balcomb, J.D. et al. (1982). Passive Solar Design Handbook. United States Department of Energy. Estados Unidos de América. Vol 1, 2 y 3.
- Booth, S., Barnett, J., Burman, K., Hambrick, J. & Westby, R. (2010). Net Zero Energy Military Installations: A Guide to Assessment and Planning. NREL, pp. 1–48.
- Danny, H., Liu Yang, J. & Lam, C. (2013). Zero Energy Building and sustainable development implications - A review. Energy. Elsevier Vol. 54, pp.1-10.
- Esteves, A., Mercado, M.V., & Ganem, C. (2006). Reciclaje solar pasivo de una vivienda en el centro oeste de Argentina. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 10, ISSN 0329-5184.
- Esteves, A., Gelardi, D., Ganem C. & Mercado, M.V. (2013). Sustainable architecture. Analysis of the Passive Solar System of Greenhouse – PSSG incorporated to buildings in temperate continental climates. Proceedings of ISES Solar World Congress.
- Flores Cáceres, M.R., Esteves, A., Filippín, M.C. & Flores Larsen, S. (2015). Proyecto de reciclaje de una vivienda urbana en Mendoza para el acercamiento a edificio de energía neta cero. Actas

de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente – ASADES 2015. San Rafael, Mendoza. Argentina.

Hernandez, P. & Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42, pp.815–821.

Norma IRAM 11603:1996. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Pacheco, M. & Lamberts, R. (2013). Assessment of technical and economical viability for large-scale conversion of single family residential building in Brazil: Climatic and cultural considerations. *Energy Policy*, Vol. 63, pp.716-725.

Sartori, I. et al. (2010). Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. Proceedings of EuroSun 2010 International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings. Graz, Australia.

Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. & Crawley, D. (2006). Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition. National Renewable Energy Laboratory U.S Department of Energy, pp.1–12.

Verstraete, J., Vilapriñó, R. & Esteves, A. (1993). Evaluación Económica de Conservación de Energía y Estrategias de Diseño Bioclimático. Reporte parcial proyecto PID 092-1992.

Autores

María Rosario Flores Cáceres es Arquitecta, Becaria Doctoral CONICET. mflores@mendoza-conicet.gob.ar

Alfredo Esteves es Doctor en Arquitectura (Universidad de Mendoza), Ingeniero Industrial, Investigador Independiente CONICET, Docente de la Facultad de Arquitectura (Universidad de Mendoza), Miembro de la Comisión Asesora Arquitectura y Hábitat de CONICET y de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de la SECYT. aesteves@mendoza-conicet.gob.ar

Celina Filippín es Doctora en Ciencias Área Energías Renovables (Universidad Nacional de Salta), Arquitecta (Universidad Nacional de La Plata), Investigadora Principal CONICET. cfilippin@cpenet.com.ar

Silvana Flores Larsen es Doctora en Ciencias Área Energías Renovables (Universidad Nacional de Salta), Licenciada en Física (Universidad Nacional de Salta), Investigadora Adjunta CONICET, Profesora JTP - Facultad de Ciencias Exactas (Universidad Nacional de Salta). silvanafloreslarsen@gmail.com

Espacios de transición y clima luminoso regional, potenciales barreras de visión funcional

Cecilia M. Lasagno^{1,2}, Andrea E. Pattini¹, Elisa M. Colombo²

Resumen

El objetivo del trabajo es mostrar la importancia de considerar los espacios de transición exterior-interior como espacios de uso obligatorio que en interacción con el clima luminoso donde se emplazan, poseen requerimientos de uso específicos. Especialmente si se considera la alta disponibilidad de radiación solar de nuestra región. La caracterización lumínica de un caso de estudio de uso diurno permitió estudiar el comportamiento dinámico anual y detectar las características morfológicas que definen su accesibilidad visual en relación al clima. Se concluye que: la orientación y diseño del acceso a los edificios, las dimensiones del espacio, las propiedades ópticas de los materiales utilizados y el horario de uso, constituyen algunos condicionantes a considerar para iluminar estos espacios ya que pueden determinar la presencia de “barreras de visión funcional”. También se evidencia la necesidad de redefinir índices de evaluación lumínica para espacios de transición con predominante presencia de luz natural.

Palabras clave: espacios de transición; barreras de visión funcional; clima luminoso regional

Transitional spaces and regional luminous climate, potential functional vision barriers

Abstract

The aim of this work is to show the importance of considering indoor-outdoor spaces as spaces of transition mandatory in interaction with luminous climate where are located, they have specific usage requirements. Especially considering the high availability of solar radiation of our region. Light characterization of a case study of daytime use allowed to study the annual dynamic behavior and detect morphological features that define its visual accessibility in relation to climate. It is concluded

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT MENDOZA CONICET. Av. Ruiz Leal s/n Pque. Gral. San Martín, Mendoza, Argentina. CP 5500. Tel +54-261-5244344. E-mail: clasagno@mendoza-conicet.gob.ar

² Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán – Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión, CONICET-UNT, Tucumán, Argentina.

that: the orientation and design of access to buildings, the dimensions of space, the optical properties of the materials used and the time of use, are some constraints to consider to illuminate these spaces because they can determine the presence of " functional vision barriers. " The need to redefine light assessment rates for transitional spaces with dominant presence of natural light is also evident.

Keywords: transition spaces, functional vision barriers and regional luminous climates.

Introducción

En la literatura científica los espacios de transición son mayormente estudiados y clasificados en relación a su comportamiento térmico. Estos estudios analizan aspectos como orientación de la fachada principal, acceso a la radiación directa, sombras estacionales, etc. (Potvin, 2000; Chun et al., 2004; Pitts and Salen, 2007) y, si bien existen contribuciones acerca de la distribución espacial de iluminancias (Cuttle, 1997; 2010) la relación entre los ET, su comportamiento fotométrico y las demandas visuales exigidas a los usuarios de estos espacios es escasa, en especial demandas visuales provocadas por la fuerte presencia de luz natural en el espacio construido.

Debido a la alta disponibilidad del recurso solar, en ciertas ocasiones estos espacios presentan repentinos cambios de luminancias en el campo visual de los usuario cuya intensidad está por encima o por debajo del rango de adaptación al que se encuentran adaptados en ese momento dado, situación descrita con el nombre de "shock visual" (Araji, 2004). Estos cambios se convierten en "barreras de iluminación" cuando el tiempo involucrado en atravesar estos espacios de transición no se correlaciona con el tiempo de adaptación requerido por el sistema visual de los usuarios, o presentan condiciones de deslumbramiento que producen un velo sobre el estímulo visual disminuyendo el contraste fuertemente, a veces hasta condiciones por debajo de las de visibilidad. Esto puede ocurrir por la presencia del disco solar dentro del campo visual de la persona cuando atraviesa el espacio en dirección a la salida o por reflejos muy direccionales, de acuerdo a las terminaciones de las fachadas de los edificios, cuando se está entrando al mismo. Estos efectos pueden observarse en las imágenes de la Figura 3. Otros trabajos presentan avances sobre la evaluación de "confort visual" en este tipo de espacios pero en términos de luminancias obtenidas a través de la conversión de iluminancias (Araji, Boubekri et al. 2007) lo cual implica ciertas limitaciones ya que esto solo es válido si las superficies medidas son Lambertianas y poseen reflectancia conocida (Rombauts, 2001).

Los espacios de transición de edificios públicos ubicados en climas soleados, se caracterizan por poseer gradientes de luminancias e iluminancias extremos, esto es, altos valores en el exterior y más bajos en el interior del edificio, lo cual implica una gran demanda al funcionamiento del sistema visual. El tiempo empleado al atravesarlos puede resultar insuficiente para permitir al sistema una adaptación estable, especialmente en regiones con altos valores de luz solar, produciéndose potenciales efectos deslumbrantes que afectan tanto la visibilidad como la confortabilidad en el momento de realizar una tarea visual. Se pretende identificar qué parámetros fotométricos permiten diagnosticar o caracterizar más eficientemente las condiciones de iluminación de los espacios de transición: contemplando la amplia variedad de tareas que allí se desarrollan, considerando que el sistema visual intenta adaptarse a las condiciones de iluminación dinámicas que el espacio ofrece. Se exponen los resultados obtenidos en la caracterización de un espacio seleccionado para ilustrar detalladamente la problemática planteada de un espacio de transición (ET), que a su vez permita identificar la presencia de potenciales "barreras de

visión funcional” (Colombo, 2013), ya que la relación entre la morfología del espacio construido y el clima luminoso donde se encuentra emplazado determinan las características lumínicas proporcionadas a sus usuarios. Este espacio de transición posee características arquitectónicas muy utilizadas en edificios públicos: un hall de ingreso de amplias dimensiones e importantes retiros respecto a l línea de edificación.

Metodología. Selección y descripción del caso de estudio

El espacio seleccionado pertenece a la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza. El edificio posee fachada con orientación ESTE por lo que recibe sol directo durante toda la mañana en coincidencia con el horario de atención al público. La entrada al edificio al edificio evaluado no cuenta con protección a la luz solar directa provista por el arbolado ubicado en la vereda ya que posee un retiro de 20 m (. Todos estos factores: orientación, horario de uso, distancia del recorrido, transforman a este espacio en “espacio crítico” desde el punto de vista de las demandas al sistema visual. Se analizan las condiciones físicas y fotométricas y se identifican las situaciones que podrían producir problemas visuales.

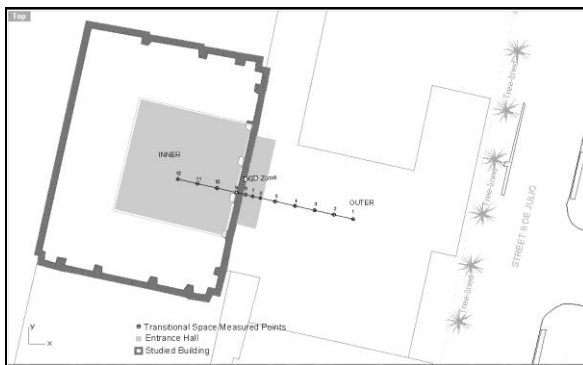


Figura 1a. Esquema en planta del Edificio Municipal

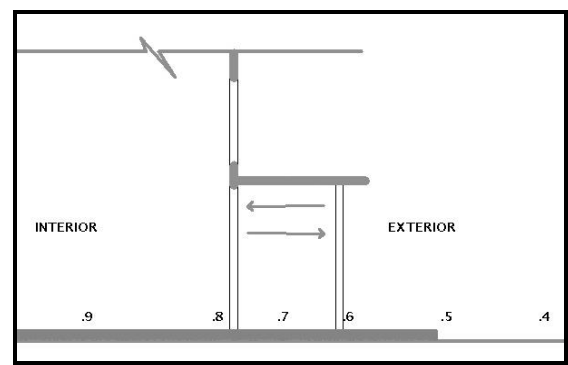


Figura 1b. Plano en corte de la entrada al edificio.



Otoño 9:30hs



Invierno 9.30hs



Primavera, 9.30hs



Verano, 9.30hs

Figura 2a. Variación del ángulo solar anual 9.30hs

En la Figura 1a se muestra un esquema en planta del edificio municipal, en este se observa el retiro respecto a la línea de edificación que posee el edificio y una línea sobre las cuales se ubican los 12 puntos donde se realizaron las mediciones anuales como se explicará más adelante. En la Figura 1b se muestra una vista en corte del mismo plano. Las imágenes “sky view” de las Figuras 2a y 2b exhiben la variación del ángulo solar anual, mostrando la dinámica solar en las cuatro estaciones: Otoño, Invierno,

Primavera y Verano, en las que se realizaron las mediciones para estudiar el comportamiento lumínico del espacio. La Figura 2a muestra la ubicación del sol a las 9.30hs en las cuatro estaciones, nótese que en Otoño e Invierno el sol se encuentra ubicado más bien en el horizonte debido a que el ángulo solar a esa hora y época del año es menor, con lo cual su incidencia sobre la fachada del edificio será de manera más perpendicular. Mientras que en las estaciones de Primavera y Verano, para la misma hora su posición es más alta. La Figura 2b muestra la posición del sol a las 13hs, las imágenes muestran el punto más alto que alcanzará el disco solar en el día para cada época del año indicada, nótese la ubicación central del disco solar en varano y su variación respecto al invierno.

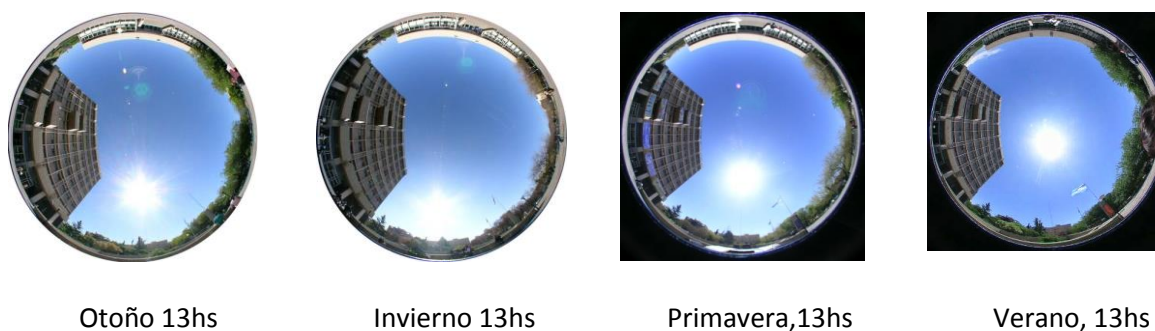
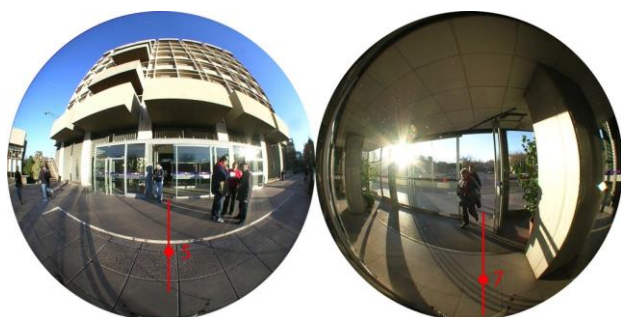


Figura 2b. Variación del ángulo solar anual 13hs.



Espacio de transición estudiado.

Entrada al edificio, pto.5 (Izquierda). Salida del edificio, pto.7 (Derecha). 9.30hs.

Figura 3

La Figura 3 muestra dos situaciones lumínicas producidas en el espacio a las 9.30hs, a la izquierda, la *entrada al edificio* presenta reflejos generados por la incidencia directa del sol en la superficie vidriada; la derecha, la *salida del edificio* muestra la presencia del disco solar dentro del campo visual de los usuarios que salen espacio. La Figura 4 muestra tres vistas del espacio y en ellas se identifican los puntos medidos en tres zonas: Zona interior, *puntos 8 y 9* (fotografía izquierda) que muestra el ingreso al edificio luego de atravesar la segunda puerta vidriada; Zona Central (fotografía central) que muestra una vista lateral del espacio existente entre la doble puerta vidriada (DPV), *punto 7* y la Zona exterior (fotografía derecha) que muestra la salida al exterior, *punto 6*.

Caracterización lumínica y fotométrica del espacio de transición

El espacio de transición fue registrado en forma anual, en cada solsticio a las 9.30hs y 13hs, siendo el horario de atención al público en la Municipalidad de 8.30hs a 13hs. Los puntos donde se realizaron los registros se muestran en la Figura 1a. El recorrido completo medido estuvo compuesto por 12 puntos, separados a una distancia de 3m, excepto en la zona de Doble Puerta Vidriada, que se midió cada 1m aproximadamente, esto debido las particulares situaciones lumínicas que se producían en ese sector de la entrada producto de la presencia de grandes puertas vidriadas y de la *orientación Este* del edificio. El

recorrido medido da un total de 27m en el que pueden identificarse tres zonas: Zona Exterior, puntos 1 al 6; Zona de Doble Puerta de Vidrio (DPV), punto 7 y Zona Interior, los puntos 8 al 12, en la Figura 4 se indican algunos de estos puntos. El tiempo aproximado para atravesar el espacio medido (desde el punto 1 al punto 12) es de 25 segundos (tiempo registrado por una persona joven sin dificultades de desplazamiento). Las mediciones se realizaron bajo condiciones de cielo claro (soleado) en los cuatro solsticios del año. También se midió una condición de cielo nublado en invierno de 2009 a las 13hs; esta condición se incluyó para estudiar el comportamiento del espacio en condiciones de luz difusa y contar con un parámetro de comparación.



Figura 4. Zona interior, foto izq. (pto.9)– Zona central (ptos.6; 7; 8) – Zona exterior, foto derecha (pto.5)

Considerando la normativa nacional se midió el parámetro **iluminancia horizontal (Eh)** (IRAM-AADL J20-06) la cual indica iluminancia horizontal mínima para hall de ingreso. Además se midió la **iluminancia cilíndrica (Ec)** por considerarse un parámetro complementario que evalúa la distribución de la iluminación en interiores con presencia de luz natural, indicando una buena reproducción de la tridimensionalidad (Duff, 2012; Nassar, 2003; Wilde et Manzano, 1989; Rombauts, 2001). Es importante resaltar que las mediciones realizadas en el espacio se hicieron en las condiciones que habitualmente se usa el mismo, es decir, que en la estación de invierno a las 9.30hs la zona interior se midió con la luz artificial encendida. Todas las mediciones se realizaron a una altura de 1.5m. El equipamiento utilizado consistió en: sensor LI-COR 189 radiometer, LI-210 SB sensor fotométrico y una base niveladora 2003 S (iluminancia horizontal y vertical); LMT PO3637 (sensor de iluminancia cilíndrica); LMT B360 (sensor de iluminancia semi cilíndrica).

Resultados

Descripción de la iluminancia horizontal (Eh)

Puede observarse que el comportamiento general de las curvas en las que se grafica la Eh mantiene su forma en las cuatro estaciones medidas y a las dos horas registradas. Es decir, elevados valores en el exterior y valores mucho menores en el interior. Las mayores diferencias entre el exterior y el interior del espacio se alcanzan en verano al mediodía, con valores exteriores dos mil veces mayores que el menor registro del interior. Mientras que las menores diferencias se dan en la estación de invierno, con valores exteriores veinticuatro veces mayores que en el interior (Figura 5).

En las estaciones de invierno y otoño a las 9.30hs, se observa una disminución en los valores de Eh registrados en el punto 1 correspondiente a la zona exterior, esto responde a un menor ángulo solar estacional que provoca que la incidencia del sol se vea obstruida por los edificios cercanos al espacio

evaluado, produciendo sombras que hacen disminuir los registros del punto 1. Por el mismo motivo, se observa que en dichas estaciones a las 9.30hs hay mayor penetración solar dentro del edificio con lo cual se produce una disminución en la amplitud de los registros de toda la transición medida. Esto provoca un aparente aumento en la uniformidad de la iluminación hablando en términos de Eh. Sin embargo, podría incurrirse en el error de pensar que dicha mejora en la uniformidad entre el exterior y el interior del espacio, podría mejorar el desempeño visual de los usuarios. Sin embargo, debido a la *orientación Este* del edificio se producen situaciones particulares para las personas que entran y salen del mismo. Las personas que salen del edificio a las 9.30hs en invierno, encuentran dentro de su campo visual la presencia del disco solar, lo cual genera una importante situación de molestia visual –en inglés “*visual discomfort*”, mientras que las personas que ingresan reciben los reflejos producidos por el sol sobre la gran puerta de vidrio existente (Figura 4). Esta característica estacional en la variación del ángulo solar puede observarse claramente en las Figuras 2a y 2b, y ocurren durante todo el período invernal. Las situaciones descritas constituyen “barreras a la visión funcional”, por un lado pues los tiempos involucrados en atravesar estos espacios son demasiado cortos y las personas no logran completar los procesos de adaptación, y por otro debido a los efectos deslumbrantes, lo que se suma a la naturaleza dinámica de la fuente. Estos factores constituyen potenciales riesgos de caídas, sobre los que hay abundante bibliografía (Lord, 2006; Abdelhafiz, 2003). En particular, dos metros antes del ingreso a la primera puerta de vidrio hay un pequeño escalón que podría volverse imperceptible ante la condición lumínica descrita, y situaciones como ésta, es decir la presencia de irregularidades en la superficie a atravesar es muy común en el espacio público.

Respecto al comportamiento lumínico interior del espacio, se observa que en las estaciones de menor disponibilidad solar (otoño e invierno) se complementa la falta de iluminación natural interior con iluminación artificial. Los registros están relevados en las condiciones reales en las que se usa el espacio, sobre todo en las primeras horas de la mañana, es decir con iluminación artificial encendida. Esto tiene una mayor influencia en las magnitudes registradas a las 9.30hs sobre todo en invierno porque las intensidades de la luz natural exterior aún son bajas, en especial en las zonas más alejadas de la puerta de ingreso. No ocurre lo mismo en las horas del mediodía, cuando debido a las elevadas magnitudes exteriores vuelven imperceptible, tanto para las personas como para el sensor de Eh, el aporte que realiza la luz artificial. Esta es una de las razones por las que muchas veces las luces permanecen encendidas durante el día sin que nadie lo perciba.

Si se realiza una comparación transversal de los registros anuales, resulta llamativo que las iluminancias mínimas no muestran grandes variaciones en el punto 12, para las dos horas registradas (zona interior del edificio). Los registros del punto 12 muestran, para las 13hs, que la Eh no alcanza el mínimo recomendado por la norma (Eh min = 100 lux) (IRAM-AADL J20-06). En relación al manejo del espacio se observa que las luces interiores se apagan hacia el mediodía en las cuatro estaciones. Este espacio estaría en “norma” si se consideran los valores registrados desde el punto 6 al 10, pero la falta de uniformidad producto de las extremas variaciones en intensidad entre el exterior y el interior, hacen que una persona que ingresa perciba que entra a un lugar oscuro, tipo cueva, evidenciando una debilidad de la normativa. A la inversa, la persona que sale del espacio, percibe un fuerte deslumbramiento por encontrarse ante una gran explanada de cemento sin ningún tipo de control solar. Para la condición de día nublado, registrada a las 13hs en la estación de invierno, se observa que la

diferencia entre el exterior y el interior se mantiene, siendo de dos órdenes de magnitud, aunque no se presentan los efectos deslumbrantes directos ni reflejados. Entre los puntos 6 y 8, zona de la doble puerta vidriada, puede observarse la mayor diferencia entre las magnitudes interiores y exteriores, produciéndose un punto de inflexión dado por la altísima disponibilidad solar exterior.

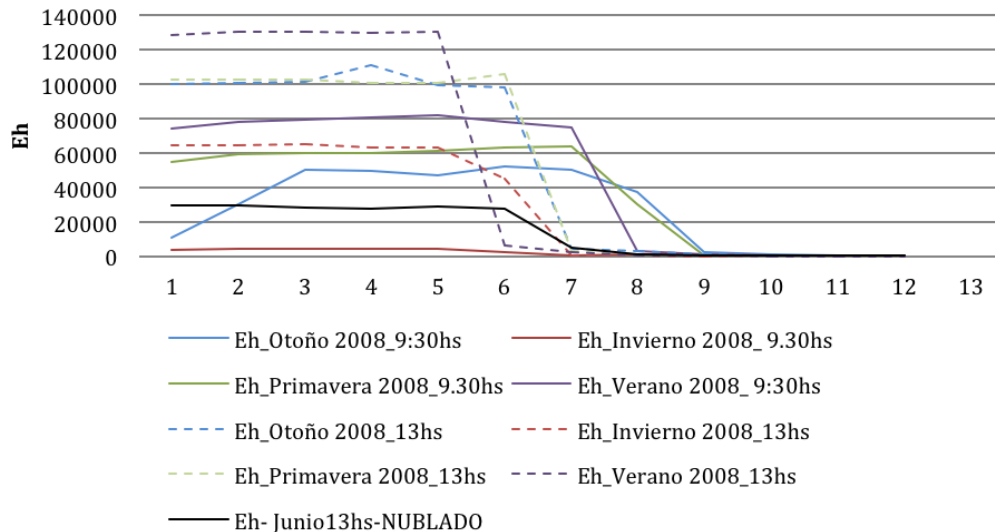


Figura 5. Datos iluminancia horizontal (Eh) anual 9.30; 13hs y día nublado

Pese a que el sistema visual humano puede adaptarse a un muy amplio rango de iluminancias, esta adaptación requiere de ciertos procesos y tiempos que le permiten al sistema visual humano alcanzar un estado de adaptación estable para el cual las funciones visuales tienen un comportamiento óptimo. En este tipo de espacios los cambios ocurren en espacios que al ser transitados involucran tiempos demasiado cortos que no le permiten al sistema lograr ese estado de adaptación, lo que lleva a introducir el término de adaptación transitoria. La falta de adaptación depende de los rangos de variación de las luminancias que ve la persona, es decir de los valores inicial y final, y en general los procesos de adaptación desde una situación de altas luminancias a bajas requiere mayores tiempos que el proceso a la inversa. Por ejemplo, para un proceso de adaptación dinámica con una variación de un orden de magnitud, por ejemplo pasar de 100 lux a 1000 lux, es una situación que solo se produce en el espacio estudiado a las 9.30hs en invierno. Sin embargo, que el espacio provea este cambio de magnitudes tampoco garantiza el adecuado funcionamiento del sistema visual debido a que justamente a esta hora el espacio presenta situaciones lumínicas complejas como las producidas por la presencia de sol directo o de reflejos molestos dentro del campo visual, como ya se mencionó. El resto de las temporadas muestran que las diferencias de magnitudes entre el exterior y el interior del espacio son de dos a cuatro órdenes de magnitud, diferencias que presentan desafíos mayores. Para la condición de cielo nublado, en la que no hay predominio de la fuente, se esperaba un comportamiento más uniforme en los registros Eh, pero no se obtuvo este resultado. Las diferencias entre el exterior y el interior del espacio superan los dos órdenes de magnitud. Se ha demostrado el efecto de la falta de adaptación y la influencia de la edad en espacios de transición de uso diurno, mediante pruebas de eficiencia visual y de molestias visuales. Donde las personas de más de 60 años emplean dos veces más tiempo que las de 20 años en reconocer un estímulo visual luego de atravesar un espacio de transición exterior-interior (Lasagno y ot, 2014). Con lo cual aumenta el riesgo de impedir el reconocimiento de algún obstáculo presente en el interior del espacio o aumentar el tiempo necesario para lograr orientarse dentro del mismo.

Se observa que si bien la *iluminancia horizontal* propuesta por la gran mayoría de las normas es sensible al comportamiento de la luz en estos espacios puede resultar un parámetro insuficiente cuando la presencia de la luz natural es el principal iluminante debido el horario de uso del lugar, ya que sus características dinámicas y direccionales (variaciones en altitud y azimut) provocan particulares situaciones lumínicas que afectan la accesibilidad de los espacios construidos. La *iluminancia horizontal* si bien muestra la intensidad y potencia de la iluminación natural, describiendo el comportamiento lumínico del espacio arquitectónico, resulta insuficiente para caracterizar lo que sucede en el campo visual de la persona que transita el espacio.

Descripción de la iluminancia cilíndrica (Ec)

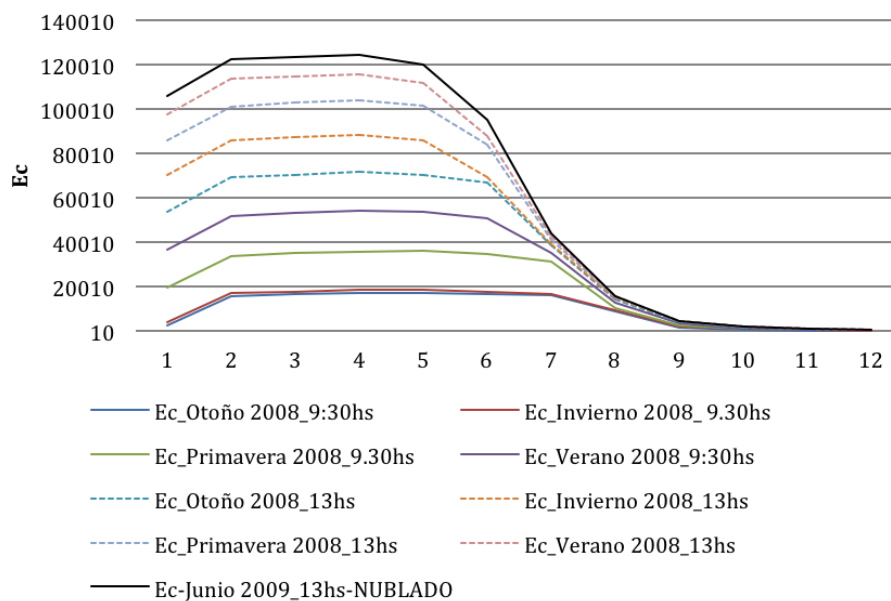


Figura 6. Iluminancia cilíndrica de las cuatro estaciones a las 9.30hs, 13hs y día nublado.

Las curvas de iluminancia cilíndrica (Ec) (Figura 6) muestran similar comportamiento que las descritas por la iluminancia horizontal (Eh), solo que las intensidades disminuyen debido a que este parámetro promedia la iluminancia vertical proveniente de todas las direcciones incidentes en un pequeño cilindro ubicado en posición vertical a la altura de visión. También se observa una disminución en el punto 1 en las estaciones de otoño e invierno, debido a un menor ángulo solar, como se explicó anteriormente. Nuevamente, los registros muestran la influencia del ángulo solar ya que en el exterior a las 13hs los registros de Ec en verano son más bajos que en el resto las estaciones. Esto se debe a que en verano en esta latitud, el sol se encuentra en su posición más perpendicular a la tierra, con lo cual tiene menor incidencia en el sensor de iluminancia cilíndrica y esta posición solar también produce menor aporte de luz reflejada de las superficies cercanas.

La curva descrita por los datos de Ec registrados en invierno a las 9.30hs llevaría a pensar que esa buena distribución en la iluminación permitiría un buen desempeño visual. Aquí nuevamente deben recordarse las escenas de la Figura 3, donde claramente aparecen factores que pueden dificultar la

visión ya que la presencia de sol directo dentro del campo visual de las personas que egresan del espacio dificulta o impide la realización de tareas visuales.

Conclusiones parciales

Del análisis de las mediciones fotométricas y de su caracterización física, así como de sus condiciones de uso, el Espacio de Transición seleccionado como caso típico de estudio, considerando un edificio de amplio retiro y orientación de fachada al Este, ubicado en una ciudad caracterizada por la alta disponibilidad de luz solar, se identifican una serie de parámetros que deben ser considerados para evaluar un espacio de transición, en función de su diseño arquitectónico para evitar la presencia de potenciales “barreras de visión funcional”. En la Figura 7 se presentan las variables físicas y las relacionadas con los factores humanos que caracterizan un espacio de transición exterior-interior.

El espacio de transición estudiado presenta similar comportamiento lumínico en las 4 estaciones de año, las diferencias lumínicas entre el interior y exterior se repiten y son importantes. Claramente, el espacio no regula el clima luminoso en el cual se emplaza, esto se verifica al observar los registros. Como se fue explicando en el desarrollo de este capítulo, se trata de un espacio sumamente complejo desde el punto de vista de las demandas generadas al sistema visual, las diferencias de luminancias existentes implican una constante falta de adaptación, se presentan zonas de deslumbramiento fisiológico que disminuyen los contrastes de la escena, también zonas de distintas claridades que pueden producir confusión perceptual, y así siguiendo, factores todos que se acentúan con la edad de las personas

La forma arquitectónica más eficiente de los espacios de transición se relaciona con su correspondiente condición climática (Chun, Kwok et al. 2004), así como la posición de la construcción y las propiedades ópticas de los materiales elegidos para su conformación. Por lo tanto, se verifica que en los climas luminosos donde predominan los cielos claros, la fachada principal de los edificios y el acondicionamiento lumínico del ET son factores críticos que deben ser anticipados (Mardaljevic 2008). Se observa que la relación morfológica y arquitectónica entre el ET estudiado y su clima luminoso no se optimizan. Como resultado, se generan potenciales problemas visuales, tanto de confort visual como de movimiento seguro. Futuras intervenciones en el espacio construido deberían resolver este tipo de problemas ya verificados. Por ejemplo, la mejora del acceso a la luz del día en la parte interior del edificio de una manera difusa y la mitigación de la radiación directa presente en la parte exterior del edificio. Esto contribuiría a una mejor distribución de la luz y una transición gradual que no provoque potenciales riesgos a los usuarios del espacio construido.

En relación a las Normas y Recomendaciones Nacionales vigentes (IRAM-AADL) y al tipo de espacio estudiado, el único parámetro que orienta a los diseñadores, ya sea de iluminación o arquitectos, para proyectar estos espacios es la “Iluminancia horizontal (E_h)”. Esto genera la potencial aparición de “barreras de iluminación”, donde por citar un ejemplo algunos espacios tienen a presencia de luz solar como fuente primaria de iluminación y sin control alguno. Respecto a las Normas Internacionales (Rea IESNA, 2000), se observa que si bien aparecen otros parámetros como el uso de la E_v y además se considera el factor edad de los usuarios, las intensidades propuestas se focalizan en marcar límites mínimos de iluminación. Estas recomendaciones aún son escasas porque la falta de consideración de la

luz natural como fuente primaria de iluminación y la presencia de esta de manera incontrolada en espacios de uso diurno genera serios inconvenientes.

| Variables Físicas | Tareas e influencia del factor humano |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Orientación y ubicación geográfica del espacio: Norte, Sur, Este u Oeste. • Influencia del entorno construido, factor de cielo visible³. • Complejidad arquitectónica (baja-media-alta ; presencia de escaleras, rampas, etc.) • Dimensiones del espacio de transición, incluyendo la distancia que debe ser recorrida por el usuario para ingresar al edificio. • Distribución y comportamiento de la luz natural que ingresa al espacio, considerando intensidad, direccionalidad y uniformidad. • Tipo de material usado en las terminaciones del espacio, considerando sus características ópticas, vinculadas al grado de especularidad y absortancia. | <ul style="list-style-type: none"> • Características propias del sistema visual considerando la edad de las personas y presencia de patologías. • Características físicas del usuario, relacionadas a su capacidad para desplazarse y con la velocidad para atravesar el espacio de transición. • Tipo de tarea a desarrollarse en el espacio, de diferente complejidad: lectura de boletas a pagar, lectura de tablero de control del ascensor, detección y lectura de señales indicativas y carteles de información, detección de escalones u otros cambios en el espacio para circular, reconocimiento de rostro, etc. • Complejidad lumínica que debe resolver el sistema visual del usuario y que permite identificar las potenciales “barreras de la visión funcional”. • Horario de uso del espacio. |

Figura 7. Identificación de variables involucradas en el espacio de transición.

La experiencia observacional desarrollada durante el estudio y análisis de este caso permiten concluir que se trata de un espacio que ofrece una compleja escena lumínica a sus usuarios. Provocando constantes demandas al sistema visual debido a los bruscos cambios lumínicos que presenta el exterior respecto al interior del espacio. Las características del espacio estudiado y las tareas visuales allí desarrolladas muestran la necesidad de profundizar el estudio tanto de percepción de modelado de rostros, como de eficiencia del sistema visual.

Bibliografía

Abdelhafiz AH, Austin CA. (2003). Visual factors should be assessed in older people presenting with falls or hip fracture. *Age and Ageing*; 32:26–30.

³ Factor de cielo (Oke y ot, 1991): Para un punto de observación concreto, el SVF expresa la relación entre el área visible de cielo y la porción de bóveda celeste enmascarada por los distintos componentes urbanos, como por ejemplo los límites construidos, la morfología arbórea, el equipamiento urbano, etc. Esta herramienta surge de la relación entre los espacios característicos de la ciudad y la visión de cielo que estos posibilitan, en función del enmascaramiento del espacio construido.

- Araji MT, Boubekri M, Chalfoun NV. (2007). An Examination of Visual Comfort in Transitional Spaces. *Architectural Science Review*; 50(4): 349–356.
- Boettger T. (2014). *Threshold Spaces: Transitions in Architecture Analysis and Design Tools*. Birkhauser Architecture.
- Borisuit A, Scartezzini J-L, Thanachareonkit (2010). A. Visual discomfort and glare rating assessment of integrated daylighting and electric lighting systems using HDR imaging techniques. *Architectural Science Review*; 53(4):359–373.
- Boyce P. (1997). *Handbook of ergonomic of human factors*. Capítulo 26: Illumination. Editado por Gavriel Salvendy, 858-890
- Cantin F, Dubois M-C. (2011). Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity. *Lighting Research and Technology*; 0:1–17.
- Chun C, Kwok A, Tamura A. (2004). Thermal comfort in transitional spaces --basic concepts: literature review and trial measurement. *Building and Environment*; 39(1187-1192).
- CIBSE (1994). *Code for Interior Lighting*. London: CIBSE.
- Colombo EM, O Donell BM, Santillán JE, Issollio LA. (2013). Functional vision barriers: a new concept analyzed in terms of human visual performance. *Psychology & Neuroscience [Internet]*; 6:219–226. Available from: <http://www.psycneuro.org/index.php/path/issue/view/16>
- Colombo, Elisa; O'Donell, Beatriz, (2001). ILUMINACIÓN: LUZ, VISIÓN Y COMUNICACIÓN. Capítulo 2: FUNDAMENTOS DE LA LUZ, Tomo 1 del libro: Editores: Asociación Argentina de Luminotecnia. Editorial: Oscar E. Parrado, Asociación Argentina de Luminotecnia Buenos Aires; 27-47.
- Cuttle C. Cubic illumination (1997). *Lighting Research and Technology*; 29(1):1-14.
- Cuttle C. Towards the third stage of the lighting profession. *Lighting Research and Technology*. 2010; 42:73.
- Duff JT. The 2012 SLL Code for Lighting: the Impact on Design and Commissioning. *Journal of Sustainable Engineering Design [Internet]*. 2012 Jan. 1;1(2). Available from: <http://arrow.dit.ie/sdar/vol1/iss2/4>
- Flyvbjerg B. Five Misunderstandings About Case-Study Research. *Qualitative Inquiry*. 2006 Apr. 27; 12:219–245.
- Inanici, M. and J. Galvin (2004). Evaluation of High Dynamic Range Photography as a Luminance Mapping Technique, Lawrence Berkeley National Laboratory: 29.
- IRAM AADL J 20-02, 1969. Iluminación Natural en Edificios. Condiciones generales y requisitos especiales.
- IRAM AADL J 20-03, 1970. Iluminación Natural en Edificios. Método de determinación.
- IRAM-AADL (1972). Luminotecnia. Iluminación artificial de interiores. Niveles de Iluminación. IRAM-AADL. J 20 05.
- Larson GW, Shakespeare R. *Rendering with Radiance*. California, USA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.; 1998.
- Lasagno C, Issollio L, Pattini A, Colombo E. Transitional spaces from exterior to interior as functional vision barriers in ageing. *Lighting Research and Technology*. 2014 Apr. 16;:1–10.

- Lord SR. Visual risk factors for falls in older people. *Age and Ageing*. 2006; 35(S2):ii42–ii45.
- Lynes, J, W. Burt, G. Jackson, and C. Cuttle. 1966. "The Flow of Light into Buildings," *Trans. Illum. Eng. Soc. (London)* 31(3): 65-91.
- Mann, S., & Picard, R. W. (1995). On Being "undigital" With Digital Cameras: Extending Dynamic Range By Combining Differently Exposed Pictures. *Proceedings of IST*, (323), 422-428.
- Oke, T.R., Johnson, G.T., Steyn, D.G., & Watson, I.D. "SIMULATION OF SURFACE URBAN HEAT ISLANDS UNDER „IDEAL“ CONDITIONS AT NIGHT" PART 2: DIAGNOSIS OF CAUSATION. *Boundary- Layer Meteorology* 56 pp339-358.1991
- Pitts A, Bin Salen J. Potential for energy saving in building transition spaces. *Energy and Buildings*. 2007;39:815–822.
- Potvin A. Assessing the Microclimate of Urban Transitional Spaces. In: *PLEA 2000 - Passive Low Energy Architecture*. Cambridge, UK: 2000.
- Rea MS. *IESNA Lighting Handbook. Reference & Application*. 9th ed. New York: Illuminating Engineering Society of North America; 2000.
- Rodríguez RG. *Análisis de estresores visuales y cognitivos en trabajo de oficina con PVD: El caso de las TIC*. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán. Fac. de Ciencias Exactas y Tecnología; 2011.
- Rombauts P. Visual comfort in underground working environments. 9th LUX-Europa Lighting Conference, Reykjavik-Iceland. 2001;;pp. 388–393.

Autores

Cecilia Marta Lasagno es Becaria Posdoctoral CONICET, Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT MENDOZA CONICET y Docente de la Carrera Diseño Insustrial UNCUyo. clasagno@mendoza-conicet.gob.ar

Andrea Elvira Pattini es Investigadora Principal del CONICET. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT MENDOZA CONICET. apattini@mendoza-conicet.gob.ar

Elisa Margatita Colombo es Investigadora Principal del CONICET, Directora del CONICET Tucumán y Directora del Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV-UNT-CONICET). ecolombo@herrera.unt.edu.ar

Vivienda sustentable para un área rural de la provincia de Tucumán

Jorge Mas¹, Carlos Kirschbaum¹, Jesús Obando¹

Resumen

Se propone un prototipo de Vivienda Rural, para familias minifundistas. El mismo no solo responde a las necesidades económicas, sociales, culturales y climáticas de la zona donde habitan, sino que también considera los tres pilares fundamentales de la Arquitectura Sustentable: 1.- ECONÓMICO, debido a que en su construcción se utilizan recursos naturales disponibles en el área, caña de bambú para estructura de techo y cielorraso, totora como aislante térmico y tierra cruda para muros. 2.- AMBIENTAL, porque se estudiaron las orientaciones más convenientes, para ello se dimensionaron las persianas para posibilitar el ingreso de radiación solar en invierno, impidiendo el ingreso en verano. Los espesores de la envolvente de la vivienda fueron determinados para obtener condiciones de confort térmico óptimas. 3.- SOCIAL debido a que se promovió la participación de los pobladores en las distintas etapas del proceso. Además, se estudió el uso de los espacios domésticos. Mediante la incorporación de un fogón mejorado se propone mejorar la calidad del aire en la cocina y disminuir el consumo de leña para cocción y calefacción. Además, se realizaron talleres de capacitación promoviendo la construcción a cargo de los pobladores como medio de transferencia tecnológica.

Palabras clave: vivienda rural sustentable, bloque de suelo-cemento, estructuras de bambú, cocina a leña, transferencia tecnológica.

Sustainable housing for a rural area of the province of Tucumán

Abstract

A prototype of Rural Housing to smallholder families is proposed. It not only responds to economic, social, cultural and climatic needs of the area where they live, but also considers the three pillars of sustainable architecture: 1. ECONOMIC because available natural resources are used in its construction in the area, bamboo cane roof structure and ceiling, reed as thermal insulation for walls and raw land. 2. ENVIRONMENTAL, because the most convenient orientations were studied, for it

¹ Depto. de Luminotecnia, Luz y Visión (UNT) – Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (CONICET)

Jorge Mas. Doctor Arquitecto. Jefe de Trabajos Prácticos en la Catedra de Acondicionamiento Ambiental II. Facultad de Arquitectura y Urbanismo – UNT. jorgemmas@gmail.com

Carlos Kirschbaum. Doctor Ingeniero. Investigador Principal CONICET. Profesor Emérito UNT – UNT. ckirschbaum@gmail.com

Jesús Obando. Especialista Arquitecto. Becario Doctoral CONICET. nanoobando@gmail.com

blinds were sized to allow the entry of sunlight in winter, preventing the entry in summer. The thicknesses of the housing envelope were determined for optimal thermal comfort conditions. 3. SOCIAL because the participation of people at different stages of the process are promoted. Furthermore, the use of domestic spaces was studied. By incorporating an improved stove aims to improve air quality in the kitchen and reduce the consumption of firewood for cooking and heating. In addition, training workshops were held to promote the construction by the settlers as a means of technology transfer.

Keywords: Sustainable rural housing, soil-cement block structures of bamboo, wood stove, technology transfer.

Introducción

En el marco del proyecto de investigación sobre desarrollo de poblaciones rurales, PICTO 2004 N°870 “Tecnologías para el hábitat, el aprovechamiento energético y el desarrollo productivo en áreas rurales de Tucumán” financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT) y del convenio entre “Unidad de Cambio Rural (UCAR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación y la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) 2012” se realizó un estudio con el objetivo de desarrollar un Prototipo Sustentable de Vivienda Rural destinado a familias minifundistas. El mismo responde a necesidades económicas, sociales, culturales y climáticas de la zona.

El área de análisis y estudio es la comuna rural El Puestito (26°24'00" Sud, 64° 47'00" Oeste), ubicada en el departamento Burruyacu, a 75 km al Noreste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, capital de la provincia de Tucumán, Argentina (Figura 1). Ocupa, en su mayor parte, el piedemonte de las Sierras de Medina, zona de la selva húmeda denominada Las Yungas. Hacia el Este se vincula con la llanura chaqueña. El clima es cálido con lluvias principalmente en el verano. Las precipitaciones varían de 400 a 800 mm por año. La zona es apta para una variada actividad agropecuaria compuesta por cultivos como caña de azúcar, maíz, trigo, citrus, palta, etc. y también para actividades de granja como el cultivo de hortalizas y la cría de aves de corral, tales como gallinas y pavos. El lugar posee un importante patrimonio en flora y fauna natural en los cerros, valles y bosques.

Teniendo en cuenta las necesidades del área en estudio, se diseñó un prototipo de vivienda rural sustentable que responda a las necesidades de los pobladores construida con recursos naturales disponibles en la zona y además tiende a responder a los tres pilares fundamentales de la Arquitectura Sustentable: 1.- ECONÓMICO, debido a que en su construcción se utilizan recursos naturales disponibles en el área, caña de bambú para estructuras de los techos y cielorrasos, totora como aislante térmico y tierra cruda para muros utilizada en forma de bloques comprimidos de suelo-cemento. 2.- AMBIENTAL, mediante el uso de materiales naturales, el estudio de las orientaciones más convenientes para dimensionar los parasoles para que permitan la entrada de la radiación solar en el invierno y la bloqueen en verano y se estudiaron los espesores más adecuados para la envolvente de tal manera de obtener condiciones de confort térmico óptimas. 3.- SOCIAL debido a que se brindó participación a los pobladores en las distintas etapas del proceso, se consideró la manera en que se usan los espacios y se incorporó una cocina a leña mejorada. Además, se realizaron talleres de capacitación y se utilizó la autoconstrucción como medio de transferencia tecnológica.

La transferencia tecnológica, generó un impacto social importante, despertando el interés de los habitantes en técnicas constructivas con recursos naturales para producir componentes para construcción y también para comercializarlos, aumentando el ingreso familiar y generando fuentes de trabajo.

El estudio y diseño forma parte de una tesis doctoral defendida por el primer autor en la Universidad Nacional de Tucumán como becario doctoral del CONICET (Mas J., 2011). Además, la propuesta obtuvo una Mención Especial en la Bienal Internacional de Arquitectura de Buenos Aires 2013, en el Premio Carrier/Bienal de Arquitectura a “la Arquitectura Sustentable”.

Figura 1. Vista satelital del área en estudio



Fuente: Google Earth

Objetivos

Mejorar la calidad de vida de los pobladores de la zona a través de la selección de innovaciones, desarrollo de tecnologías, construcción y equipamiento de locales, integración, optimización del consumo y aprovechamiento de recursos naturales, valorización y modernización de técnicas y recursos locales, tanto naturales como humanos.

Se pretende contribuir a:

- Introducción y desarrollo de tecnologías adecuadas para viviendas de población rural dispersa.
- Capacitar mano de obra local en técnicas conservacionistas.
- Racionalizar el uso de energía.

Estas contribuciones pueden traducirse en innovaciones tecnológicas en cuanto al calentamiento del agua, el uso de los combustibles para la cocción de los alimentos, la organización espacial de la vivienda, el uso de recursos naturales y técnicas en construcción.

Metodología

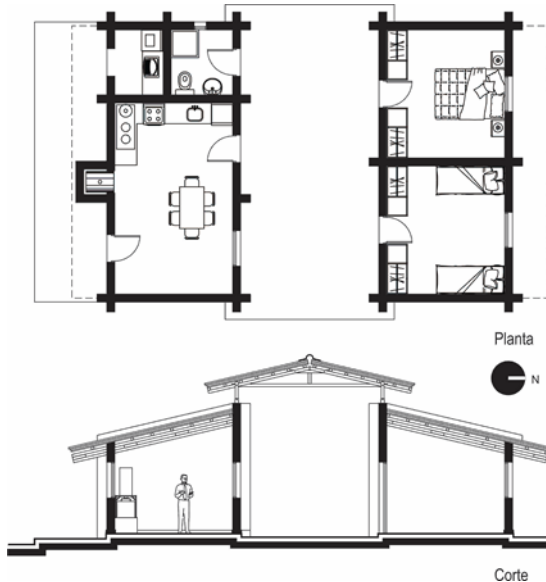
El trabajo se desarrolló en varias etapas. En la primera se realizó un diagnóstico, en el cual se consideró la relación de los habitantes con el medio ambiente y el paisaje, efectos de las condiciones de las viviendas en la salud y bienestar de los ocupantes, necesidades, demandas y deseos de los habitantes del lugar, analizando las características socio-culturales que hacen a la apropiación del espacio y de la vivienda por parte de los moradores, es decir a su modo de vivir (Mas J., 2007, Tonello G., Mas J., Raitelli M. y Kirschbaum C., 2007). Además, se realizó un relevamiento físico de los locales, materiales y métodos constructivos, tanto de los espacios cubiertos y como los semicubiertos. Los resultados demostraron que el hábitat construido en la zona, no responde a las condiciones ambientales externas para lograr un ambiente interior confortable.

A partir de los datos obtenidos se procedió al diseño y construcción del prototipo de vivienda.

Programa de vivienda

El diseño consta de dos módulos rectangulares separados. Uno de ellos contiene la zona social y servicio, es decir, cocina/comedor, baño y lavadero. El otro la zona privada, que consta de dos dormitorios. Estos módulos se vinculan mediante una galería con cubierta a dos aguas (Mas J., 2008).

Figura 2. Planimetría general de la vivienda.



Fuente: Figura realizada por los autores

Figura 3. Estado actual de la obra.



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Uso de recursos naturales para la construcción

El cerramiento vertical se materializa mediante el uso de la tierra en forma de Bloques de Suelo-Cemento (BSC) (mezcla de tierra, cemento y agua, que se compacta a presión mediante prensa manual tipo CINVA RAM). El cerramiento horizontal se conforma a través de 3 cubiertas cuya estructura principal y cielorraso son de caña de bambú y se utiliza totora como aislante térmico.

Mampostería de bloques de suelo cemento (BSC)

Tierra cruda, en forma de bloques comprimidos de suelo-cemento sirven como mampuestos para materializar la componente opaca de los cerramientos verticales exteriores e interiores (Figura 4).

Figura 4. Proceso de fabricación de Bloques de Suelo Cemento



Fuente: Fotografías tomadas por los autores

Figura 5. Proceso de fabricación de mampostería de BSC



Fuente: Fotografías tomadas por los autores

Las dimensiones de los bloques (11 x 18 x 36 cm) se determinaron teniendo en cuenta que los mismos deben:

- Tener las condiciones adecuadas de aislamiento térmico. En un muro construido con ellos, $1,80 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ se obtiene de Transmitancia Térmica², valor mínimo recomendado por NORMA IRAM 11601:1996 para la zona bioclimática a la que pertenece el sector en estudio.

² Este valor surge de considerar que según Norma IRAM 11601.1996, la Conductividad Térmica de los BSC varía entre $0,32$ a $0,62 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, para pesos específicos de 1500 a 1800 Kg/m^3 . Considerando que el peso promedio

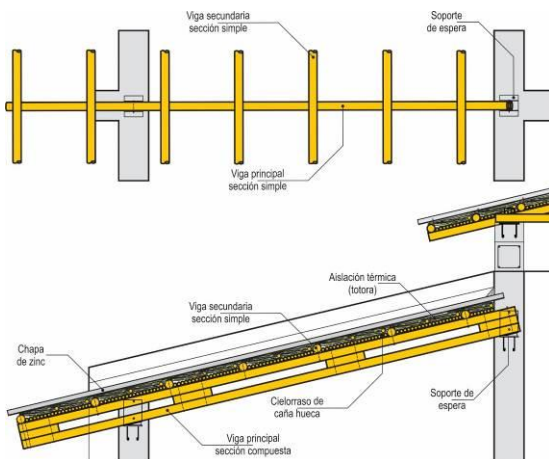
- Su peso, tamaño y manejabilidad sean adecuados para los operarios de la obra.
- Dosificación determinada 1(cemento): 8(tierra) y muy poca agua para la mezcla de elaboración. El ínfimo uso de este último recurso es importante destacar ya que escasea en la zona.
- Resistencia adecuada. Ensayos de laboratorio, realizados por los autores en el CRIATIC³ muestran una resistencia promedio de 55,90 kg/cm². Considerando que la resistencia mínima de un ladrillo cerámico común, clase C es de 60 kg/cm² (según Norma IRAM 12586), los valores de resistencia alcanzados son adecuados.

Cubiertas de estructuras de bambú

El bambú es recurso muy común en las construcciones realizadas por los pobladores de la zona. Sin embargo, no se le realiza ningún tipo de tratamiento, lo cual lo hace propenso al ataque de hongos e insectos xilófagos. Para sanear esta situación, es necesario someter a las cañas a procesos de curado. Una sencilla y económica manera de curar las cañas, es sumergirlas en una solución de agua, bórax y ácido bórico durante 48 hs. Luego, se las coloca al aire libre durante 90 días para el proceso de secado. Se usaron dos tipos de cañas en esta construcción: *Bambusa Vulgaris*, de 12 cm de diámetro para construir las estructuras resistentes de la cubierta y *Bambusa Tuldoides*, de 4 cm de diámetro para materializar el cielorraso. Se usaron dos tipos de estructuras para las cubiertas de la vivienda:

- **Vigas de sección compuesta** en los módulos que contienen las zonas privada y social y de servicio. Esta alternativa sirve para aumentar el momento de inercia y, por lo tanto, la resistencia del conjunto (Figuras 6 y 7).

Figura 6. Viga de sección compuesta



Fuente: Figura realizada por los autores

Figura 7. Montaje de viga de sección compuesta



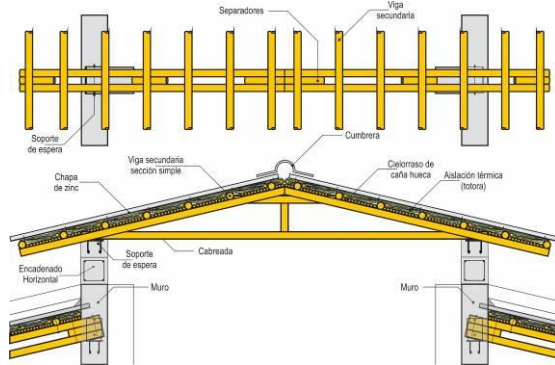
Fuente: Fotografía tomada por los autores

de los bloques fabricados es 11,05 Kg y el volumen 0,0065 m³, se puede valorar fácilmente el peso específico. El mismo surge de dividir 11,10 Kg/0,0065 m³ = 1707,69 Kg/m³. Interpolando los valores se puede estimar que la conductividad térmica de los bloques fabricados es de 0,53 W/m² °C.

³ Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.

- **Reticulado** (cabreada de bambú) cubierta a dos aguas en galería, responde al diseño formal, a las solicitaciones a las que están sometidos los elementos estructurales y luces a salvar (Figuras 8 y 9).

Figura 8. Reticulado (cabreada de bambú)



Fuente: Figura realizada por los autores

Las uniones entre cañas se realizaron mediante varillas roscadas para conformar cada tipo de estructura. Mientras que las uniones de las estructuras de bambú y encadenados de cerramiento a través de pañuelos metálicos.

Para evitar generar ambientes calurosos en verano y fríos en invierno, se estudió la posibilidad de utilizar paja (en este caso totora, que crece en pantanos cercanos) como aislante térmico natural. La misma se colocó encima del celorraso de cañas de bambú (Figura 10 y 11).

Figura 10. Totorá (aislante térmico)



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Figura 9. Montaje de reticulado



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Figura 11. Colocación de totora en cubierta

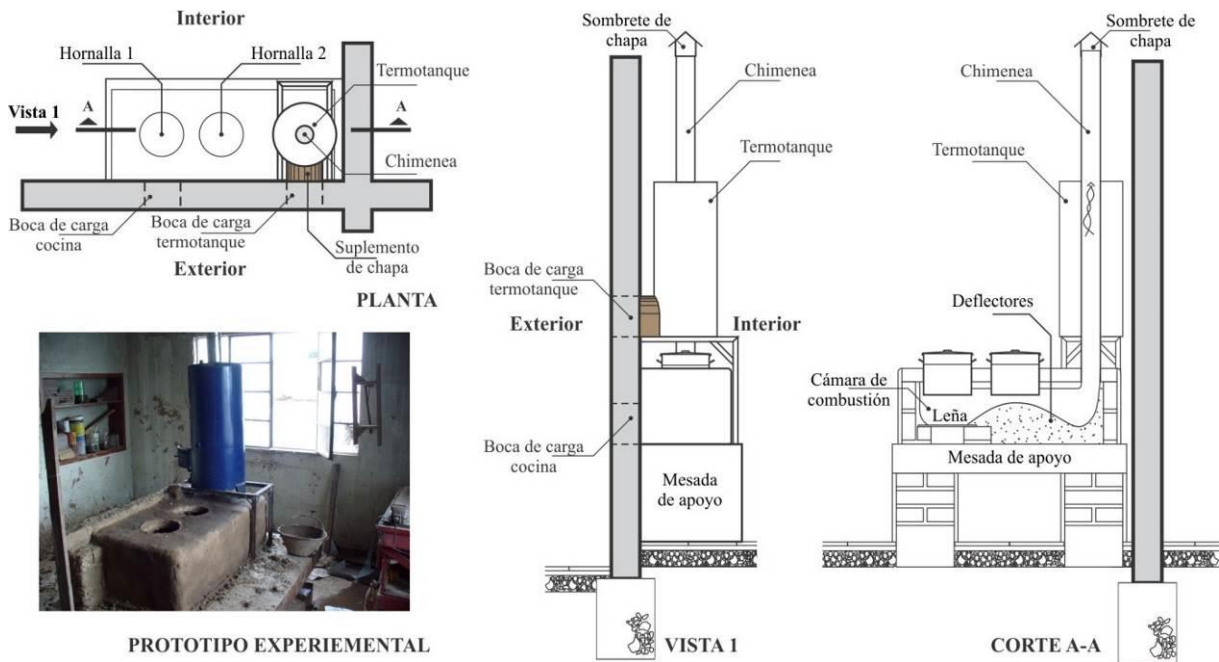


Fuente: Fotografía tomada por los autores

Además, se incorporó en esta vivienda una cocina a leña mejorada (Figura 12), que utiliza alrededor de un 25% menos de leña, que el fogón a fuego abierto. Por otro lado, reduce la contaminación del ambiente interior generada por los fogones existentes en la zona. El calor residual expulsado por la chimenea (Figura 13), se utiliza para elevar la temperatura del agua que contiene un calentador a leña ubicado sobre la cocina (Mas J., Kirschbaum. & Obando J., 2013). Es importante resaltar que en la prueba de funcionamiento de la cocina se detectaron pequeñas fugas de humo entre las ollas y los

orificios donde van ubicadas, para ello se eliminaron las fugas provisoriamente esparciendo arena en las juntas (Figura 14). Otra alternativa por probar es el uso de burletes de alta presión en lugar de arena. También se previó en la vivienda la incorporación de un horno ecológico y un calentador solar. Respecto a este último, se está estudiando un colector con manguera negra y envases plásticos, elementos de bajos costos (Figura 15).

Figura 12. Cocina a leña mejorada



Fuente: Figuras realizadas por los autores

Figura 13. Prueba de funcionamiento de cocina



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Figura 14. Solución provisoria de fuga de gases



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Figura 15. Ubicación de tanque y prototipo de colector de manguera negra y botellas de plástico



Fuente: Fotografías tomadas por los autores

Resultados

- Los resultados muestran que los BSC cumplen con las condiciones de aislamiento térmico y resistencia adecuada que los hace apropiados para materializar los cerramientos verticales de las viviendas de los pobladores con un bajo costo, prácticamente impermeables, estables en el tiempo. Además, se diseñaron para ser colocados “de soga”, con lo que se construyen más m² de mampostería en menor tiempo.
- El curado del bambú logra evitar el ataque de insectos lo cual lo pueden degradar.
- Las vigas de sección doble aumentan el momento de inercia y por lo tanto la resistencia del conjunto.
- La cocina mejorada posibilita un mejor aprovechamiento de la leña y reduce la contaminación interior. Por otro lado, usa el calor residual para calentar agua contenida en el termotanque que abastece la vivienda.
- Según comentarios de los pobladores la casa, en la estación de verano, es más fresca que las que poseen.

Para transmitir en la zona la tecnología del suelo-cemento, el correcto uso del bambú e inserción de la cocina a leña mejorada se organizaron capacitaciones a los pobladores para que se apropien de dichas técnicas (Figuras 16, 17, 18 y 19).

Figura 16. Capacitación en BSC





Fuente: Fotografías tomadas por los autores

Figura 17. Capacitación en bambú – Viga de sección compuesta



Fuente: Fotografías tomadas por los autores

Figura 18. Capacitación en bambú - Cabreada





Fuente: Fotografías tomadas por los autores

Figura 19. Capacitación en construcción de cocina a leña mejorada



Fuente: Fotografías tomadas por los autores

Exponiendo la existencia de estas tecnologías, describiendo sus ventajas y demostrando la factibilidad del proceso de construcción, se consiguió despertar el interés de los habitantes. La transferencia tecnológica, generó un importante impacto social y despertó el interés de algunos habitantes de usar técnicas conservacionistas, pretendiendo producir componentes para la construcción con recursos naturales de la zona, no solo para construir y/o ampliar su vivienda, sino también para comercializarlos en la zona y lugares cercanos, aumentando de esta forma el ingreso familiar y generando fuentes de trabajo.

Conclusiones

Se demostró que, mediante el correcto uso de los recursos naturales, es posible alcanzar condiciones adecuadas de confort, durabilidad y habitabilidad en viviendas de bajo costo. Intentando responder a los tres pilares que componen la arquitectura sustentable es que se utilizaron de la forma antes descrita, los recursos naturales de la zona (Componente Económico), se aprovechó de la mejor

manera posible el capital social y cultural existente en el área (Componente Social) y se aplicaron pautas de diseño bioclimático (Componente Ambiental).

Se piensa que, con las estrategias utilizadas, las innovaciones insertadas en la zona y capacitación de pobladores, se está ayudando a mejorar las condiciones de habitabilidad de las viviendas la zona estudiada y por lo tanto contribuyendo a mejorar la calidad de vida de sus pobladores.

Bibliografía

- Arias L., Alderete C. & Mellace R. (2004). Variación de la resistencia del BTC según distintos estados hídricos. En *Libro de Memorias III Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra (II SIACOT)* (págs. 235-244). Tucumán, Argentina.
- Mas J. (2007). Análisis de viviendas en un área rural de la provincia de Tucumán. *Terceras Jornadas de la Asociación Argentino Uruguaya de Economía Ecológica ASAUUE*. Tucumán, Argentina.
- Mas J. (2008). Prototipo de vivienda para un área rural de la provincia de Tucumán. Segundas Jornadas de Jóvenes Investigadores. Tucumán, Argentina.
- Mas J. (2011). Innovación y desarrollo tecnológico para unidades productivas familiares en áreas rurales de la provincia de Tucumán.
- Mas J., Kirschbaum C. & Obando J. (2013). Diseño y evaluación de una cocina a leña. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (ISSN: 0329-5184). Asociación Argentina de Energía Solar, Vol. 17, 01-09.
- Negrete J. (2006). Software: Visual_K. Proyecto CIUNT 26/B 309. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.
- NORMA IRAM 11601:1996. (s.f.). Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.
- R, Arias L. Alderete C. & Mellace R. (2003). Control de la absorción de agua en bloques comprimidos de suelo-cemento. Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra cruda FAU-UNT.
- Saleme H. (11 de 01 de 2011). Proyecto Bambú. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán (1995). Obtenido de http://www.pro-bambu.com.ar/index.php?option=com_content&view=category&id=2&Itemid=4
- Tonello G., Mas J., Raitelli M. & Kirschbaum C. (2007). Factores ambientales en viviendas de una zona rural y su efecto en las personas. *V Congreso de Medio Ambiente*. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Sala Multipropósito Bioclimática

Guillermo Omar Mariano

Resumen:

Este trabajo tiene por objeto abordar la temática de la “Arquitectura Bioclimática y Sustentabilidad” presentando un edificio construido en la localidad de City Bell, partido de La Plata; perteneciente a un establecimiento pedagógico. Esta sala posee unos 700 m² pudiendo albergar a unas 500 personas y forma parte de un Centro Cultural conformando así un espacio multipropósito e integrador con la ciudad.

Este proyecto fue concebido para ser un “edificio de bajo consumo de energía”, adoptando una serie de medidas pasivas o bioclimáticas con el fin de minimizar la demanda energética y lograr así una mayor eficiencia y economía para su funcionamiento. Todo esto basado en la utilización de recursos naturales como la iluminación y ventilación, extremando medidas de aislamiento térmico de toda su envolvente, previendo un sistema de climatización de bajo consumo y mantenimiento que permita alcanzar un adecuado confort higrotérmico. Estos sistemas pasivos de climatización permiten el menor grado de utilización de los sistemas activos de calefacción y refrigeración, pensados estos para ciertas etapas extremas del clima y/o a factores de ocupación. Todas estas consideraciones de diseño arrojaron como resultado la certificación de Eficiencia Energética Edilicia, categoría “B” en energía de calefacción, Norma IRAM 11900, en cumplimiento con la Ley 13059/03 y su Decreto reglamentario 1030/10, otorgada por el Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable de la UNLP.

El edificio cuenta además con un especial tratamiento en acústica, accesibilidad y AVL (audio, video e iluminación) lo que eleva la calidad ambiental del espacio interior e exterior haciéndolo más sustentable.

El edificio ya fue inaugurado siendo utilizado en variados eventos y en periodos extremos de verano e invierno arrojando resultados óptimos en su funcionamiento. Los usuarios del mismo han expresado su satisfacción describiéndolo como un espacio “muy confortable y de excelencia ambiental” superando así todas las expectativas previstas.

Palabras clave: enfoque; ecosistémico; transdisciplinario; compromiso; capacitación

Multipurpose room bioclimatic

Abstract:

This work aims to present the issue of "Bioclimatic Architecture and Sustainability" featuring a building in the town of City Bell, of La Plata; belonging to an educational establishment. This room has 700 m² with a capacity about 500 people and it's part of a cultural center and forming a multipurpose space which inclusive the city.

This project was designed to be a "low energy building", adopting a series of passive or bioclimatic measures to minimize energy demand and achieve greater efficiency and economy to its function. All of it is based on use natural resources such as lighting and ventilation, thermal insulation taking extreme measures throughout its shell, providing an air conditioning system, low energy and maintenance to achieve a proper hygrothermal comfort. These passive cooling systems allow lower utilization of active heating and cooling systems, designed these stages to certain extreme weather and / or load factors. All these design considerations yielded results in the Energy Efficiency Structure Certification, category "B" in heating energy, IRAM 11900, fulfilling the law 13059/03 and it's Regulatory Decree 1030/10, issued by the Laboratory of Architecture and Sustainable Habitat UNLP.

The building also has a special acoustic treatment, accessibility and AVL (audio, video and lighting) bringing the environmental quality of indoor and outdoor space making it more sustainable. The building was inaugurated already being used in many events and in extreme summer and winter periods yielding optimal results in performance. The same users have expressed their satisfaction describing it as a "very comfortable and Environmental Excellence" space surpassing all their expectations.

Keywords: approach; ecosystem; transdisciplinary; commitment; training.

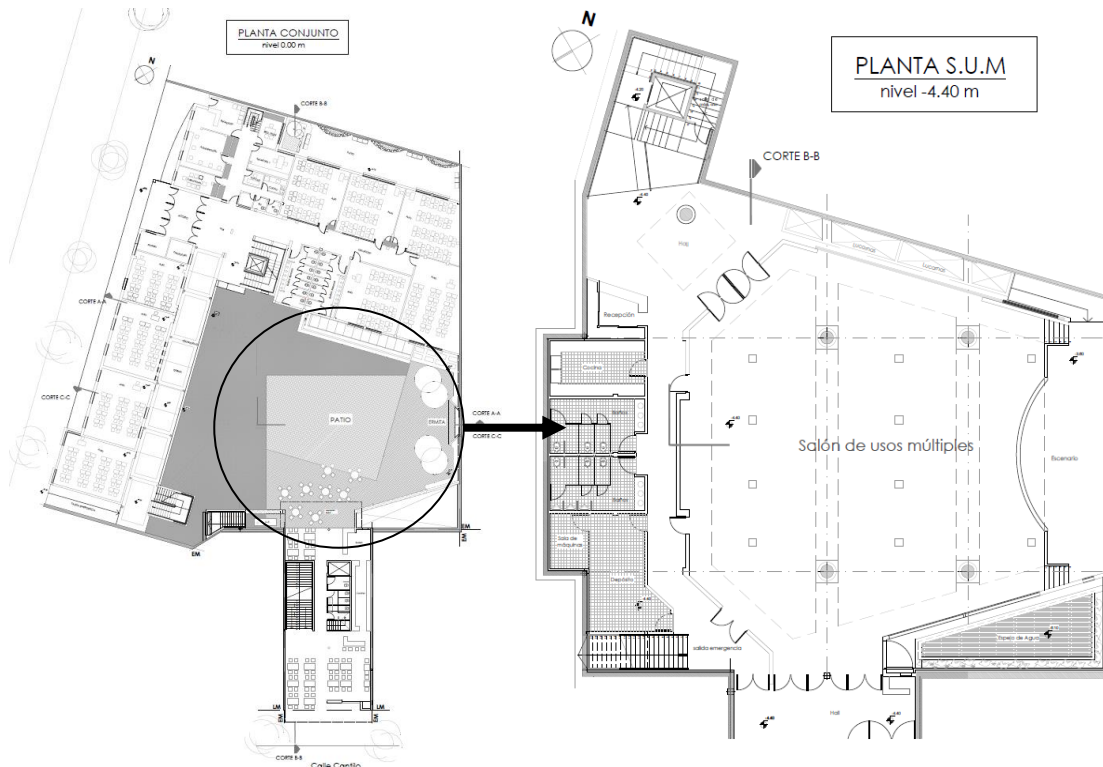
Introducción

Frente al escenario del cambio climático, la escasez de recursos energéticos convencionales y el incremento poblacional, debemos actuar de manera consciente y eficaz. Un aporte concreto en esta línea es el Salón de Usos Múltiples perteneciente al Instituto José Manuel Estrada construido recientemente e inaugurado en mayo del 2015. La obra es parte de un máster plan de reciclado, refuncionalización y puesta en valor del viejo edificio escolar perteneciente a la institución fundada en el año 1956. El establecimiento se encuentra enclavado en el centro histórico de la localidad de City Bell, partido La Plata, Bs.As. Argentina.

Desde sus inicios el edificio fue creciendo con la anexión de viviendas existentes lindantes al predio, sin una línea rectora que le pudiera dar una clara identidad, siendo una sumatoria de espacios laberínticos. Teniendo en cuenta esta realidad se proyectó y planificó un edificio en etapas que pudiera alcanzar en pocos años una nueva fisonomía, permitiéndole dar un salto cuantitativo y cualitativo de toda su infraestructura edilicia, de acuerdo a un ambicioso programa basado en lograr una fuerte identidad como "espacio integrador institucional" a nivel pedagógico y social. Por este motivo y previendo el impacto ambiental que podría ocasionar un proyecto de gran envergadura se puso especial énfasis en respetar la impronta de su entorno.

El edificio se inserta en un predio de forma irregular que alcanza los 2000 m², el cual se conecta a dos frentes, uno de ellos a la avenida Cantilo, arteria principal del centro comercial de la localidad. El proyecto forma una especie de "L", abriéndose hacia un patio central recreativo, que a su vez se conecta a nivel 0.00 con la arteria mencionada. El SUM se encuentra por debajo de este patio, a un nivel de -4.50 y su ubicación responde a dos objetivos: aprovechar la ubicación estratégica "central"

del predio con el fin de interconectar e integrar las distintas áreas pedagógicas y culturales, como así también evitar un fuerte impacto ambiental en su entorno debido al tamaño y uso, ya que su superficie alcanza los 700 m² pensado para albergar a unas 500 personas. Este Salón junto con el patio, forman una bi-unidad proyectual ya que ambos son parte de un Centro Cultural constituyendo así un espacio multipropósito e integrador del colegio con su comunidad. En ellos pueden converger actividades de orden pedagógico como de carácter cultural: conferencias, cursos, proyecciones, ferias, muestras de arte, etc.



De esta manera el SUM se le puede acceder desde el colegio o desde el Centro Cultural por calle Cantillo. Este Centro fue pensado como un edificio “conector” que une a esta calle con el patio del colegio a nivel 0.00 a través de un área comercial de dos niveles y por debajo de esta en un nivel -4.50 se halla el auditorio-cine que está directamente relacionado en SUM. De esta manera el edificio se transforma en una propuesta cultural abriéndose a la ciudad por esta calle céntrica de características propias, cuyo carácter e impronta responden a una localidad que sigue creciendo y desarrollándose en forma sostenida a lo largo de estos últimos años.

En cuanto al diseño del SUM podemos mencionar que se sostiene en cuatro columnas centrales, las que permiten descargar la cubierta-patio. El salón se encuentra rodeado por una circulación perimetral en forma de anillo permitiéndolo aislar espacial y acústicamente del resto de las dependencias como servicios e ingresos. A su vez esta circulación conecta los dos accesos principales, el del colegio y el del centro cultural, con dos escaleras de emergencias y ascensores que salen hacia ambos frentes brindando así una mayor seguridad y accesibilidad.

Debido a lo ambicioso del programa, a la envergadura del proyecto, su entorno y la versatilidad pretendida para su uso, el edificio fue incorporando criterios y conceptos para intentar alcanzar el mayor grado de sustentabilidad posible, a fin de lograr calidad espacial y ambiental sin perder de vista el costo de funcionamiento y mantenimiento derivado de su uso ya que se trata de un edificio escolar.

Metodología

Teniendo en cuenta estas premisas el proyecto fue concebido para ser un “edificio de bajo consumo de energía”, adoptando una serie de medidas pasivas o bioclimáticas con el fin de minimizar la demanda energética y lograr así una mayor eficiencia y economía para su uso. Todos estos conceptos se apoyan en una estrategia de diseño llamada DAC, Diseño Ambientalmente Consciente, que intenta dar sustentabilidad al proyecto, basada en estos puntos:

- Mejorar la Eficiencia Energética del edificio
- Evaluar el consumo energético anual del edificio durante toda la vida útil
- Priorizar el costo de construcción y mantenimiento del mismo
- Reciclar edificios y materiales
- Minimizar las emisiones y residuos
- Lograr el mayor grado de accesibilidad
- Agregar sistemas de generación de energía propia mediante fuentes renovables (Czajkowski, Gomez , 2007)

Teniendo en cuenta estos conceptos se trato de potenciar los aspectos positivos de ser un edificio enterrado, utilizando los recursos naturales disponibles a su alcance tales como la luz natural, el aire y la tierra que se halla en contacto en casi toda su envolvente; todo esto a fin de regular térmicamente al edificio a través de una sumatoria de efectos y así un adecuado confort higrotermico.

Ventilación

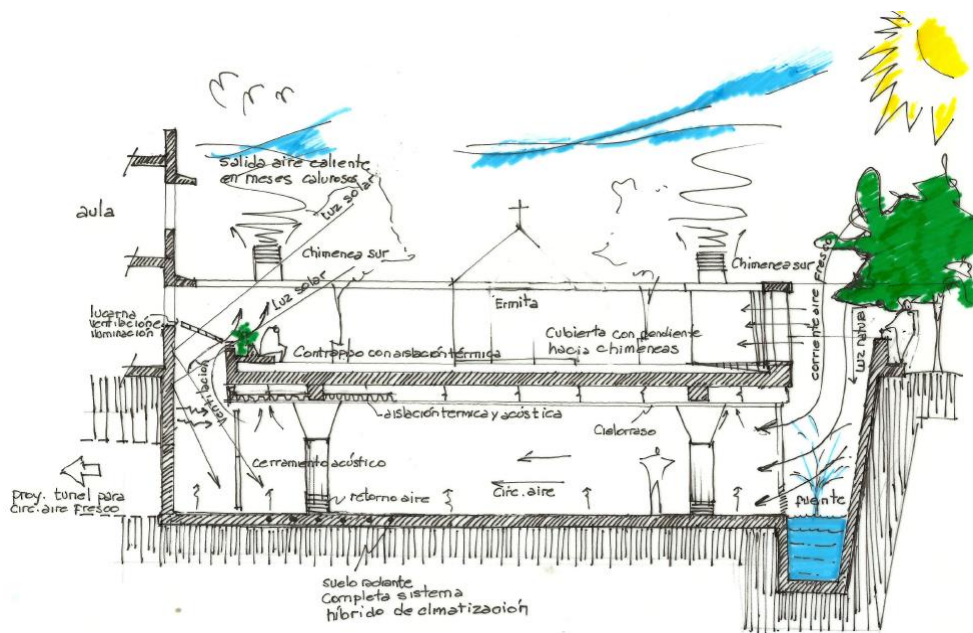
Se consiguió a través de venteos o chimeneas que permiten la inyección de aire puro como así también la eliminación del exceso de aire caliente producto de la ocupación de personas o de la iluminación artificial, sin ninguna ayuda mecánica. En total suman cuatro, dos están ubicadas sobre las escaleras de ingreso y salida de emergencia y las otras dos en el lado opuesto. Estas últimas recogen el aire ayudadas por una leve inclinación que posee la losa hacia el escenario donde estas se ubican. Sumado a esto existe una ventilación cruzada provocada por una lucarna ubicada en la parte superior de la cubierta y el patio ingles con su fuente que, además de servir con fines ornamentales, es el reservorio del sistema de incendio, permitiendo incorporar una masa de aire frío. En casos extremos hay posibilidad de apertura y cierre total o parcial de estos sistemas pero se busca una autorregulación natural de los mismos. Para un futuro está previsto aprovechar los vientos nocturnos del cuadrante sur a través de un túnel que interconecte al salón con un patio lateral ubicado al sur, esto implicaría una importante obra de ingeniería, ya que se trata de una excavación de 10 m de largo por un diámetro de 1.70m, pasando por debajo de las aulas. Este sistema alimentaría con aire de menor entalpía el gran espacio y completaría el sistema de ventilación y refrescamiento pasivo del subsuelo bajando el tenor de humedad y autorregulando el nivel de confort higrotérmico.

Asoleamiento e iluminación

El ingreso de luz solar al SUM se produce por dos elementos: la lucarna lateral orientada al norte que permite el ingreso de rayos en forma directa e indirecta, ya que esta se apoya sobre una pared que sirve de pantalla blanca de dos niveles que termina reflejando la iluminación natural hacia el interior y por otro lado el patio ingles ubicado al noroeste que recibe el sol de la tarde. Una de las claves para que se produzca esta iluminación fue no darle demasiada profundidad al edificio al enterrarlo. La iluminación artificial fue diseñada con artefactos Led, constituyendo un aporte concreto en el ahorro de consumo energético y evitando generar calor latente interno.

Aislamiento térmico

Se extremaron las medidas de aislamiento térmico en la cubierta, siendo esta la mayor cara expuesta a la radiación solar. Para ello se utilizó un contrapiso ultraliviano con perlas de EPS de 18 cm apoyado sobre placas de EPS de 50 mm de alta densidad. Por debajo de la losa en el entretecho se sumó una lana de vidrio de 70mm de espesor apoyada sobre el cielorraso acústico suspendido. La misma posee una doble función la de aislar térmica y acústicamente al salón. Con respecto a los muros perimetrales en contacto con la tierra no se colocó aislación alguna con el fin de aprovechar la gran inercia térmica de toda la envolvente. Cabe señalar que todas las superficies vidriadas están compuestas por DVH tonalizados 6+12+6 con el propósito de minimizar el ingreso de calor hacia el interior



Esquema de funcionamiento

Todas estas medidas permiten conseguir una temperatura interior con una mínima de 17° a 18 °C en invierno y 24 a 25°C en verano, considerando una carga por ocupación moderada a baja. Estos sistemas pasivos de climatización permiten la menor utilización de sistema activos de calefacción y refrigeración, que en caso de ser requeridos debido a ciertas etapas extremas del clima o a factores de ocupación, fueron pensados como un sistema híbrido de suelo radiante y aire acondicionado. En ambos casos al tener una temperatura media en el ambiente, requiere de poca energía para su consumo ya que se activarían en momentos muy puntuales.

Los sistemas de climatización:

En *verano* la aplicación de todas las estrategias combinadas tiene un límite frente a la carga sensible y latente por ocupación. Cuando el edificio se ocupa con 400 a 500 personas realizando actividad moderada generan una carga adicional de 28 a 35 kWh y que debe ser extraída por el sistema de refrigeración. Hay otros sistemas pasivos que pueden evitar el encendido del aire acondicionado pero son controversiales para su uso en un SUM y se sugiere no utilizarlos, tal es el caso del uso de micronizadores y ventiladores. Así en muy contados días de diciembre y marzo se requeriría aire acondicionado solo frío. Para esto se propone la instalación de conductos y la mitad de la potencia de

refrigeración requerida a 20 TR (70.4 KW). Se sugiere dejar previsto su ampliación si el SUM se llegara a utilizar de manera intensiva en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, siempre y cuando se encuentre en las condiciones ya planteadas. En *invierno* el edificio se autorregula con temperaturas cercanas al confort usando abrigo ligero para personas en actividad ligera o sentadas. En caso de requerirse temperaturas de confort con ropa ligera se requerirá agregar calor al ambiente. Para esto se propone el uso de piso radiante con conductos de polietileno reticulado y dos calderas murales de baja potencia (2 x 16000 kcal/h) a gas. Se deja prevista la extensión para ubicar paneles solares térmicos en la azotea del bloque edilicio de aulas que da al este. Además en el piso radiante puede recircular el agua de la cisterna o fuente para refrescar el piso si se quisiera en horas de la tarde en días muy calurosos del verano.

La metodología prevista para medir y calcular el comportamiento global del edificio fue basado en los siguientes puntos:

- . Evolución bioclimática. Se estudio el comportamiento del edificio terminado, pero sin uso, es decir, sin cargas internas ni sistemas activos de climatización.
- . Condiciones de confort. Se estudio el requerimiento de energía aportada por los sistemas activos para mantener el espacio en condiciones de confort sin cargas internas.
- . Caso real. Se simulo una situación de uso real del edificio con cargas internas, condiciones de confort y sistemas activos de climatización.

Para medir y evaluar el comportamiento energético del edificio se realizo una simulación con el software Energy Plus 7.2. Trata de un programa de simulación energética de edificios e instalaciones. Este software, desarrollado por el DOE (Department of Energy, Estados Unidos) ofrece posibilidades casi infinitas para modelar y ajustar las variables a la realidad. Con estos datos a su vez se realizaron los cálculos necesarios para la elección de los equipos utilizados.

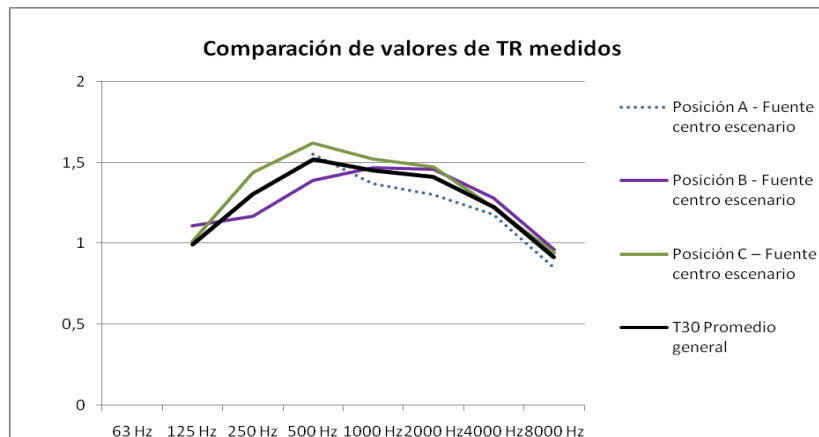
Resultados

Estas consideraciones proyectuales fueron consensuadas y elaboradas en forma conjunta con el asesoramiento del Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable de la UNLP, por el cual se obtuvo el Certificado de Eficiencia Energética Edilicia, categoría “B” en energía de calefacción, Norma IRAM 11900:2010. *“Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente”* y cumplimentando con la Ley 13059:2003 y su Decreto Reglamentario 1030:2010 *“Acondicionamiento Térmico de Edificios”*, Provincia de Buenos Aires, Argentina



De esta manera se logra un aprovechamiento de los recursos disponibles y un ahorro considerable del consumo energético en el funcionamiento del edificio.

Otras de las claves del DAC fue dar un especial tratamiento acústico al edificio, utilizando materiales de última generación y un diseño de vanguardia en AVL (audio, video e iluminación) lo que posibilita desarrollar las actividades con un cierto grado de confort y excelencia. De esta manera no solo se logra controlar y minimizar las emisiones de ruido hacia el exterior, sino aprovechar nuevas tecnologías en pos de alcanzar calidad ambiental con materiales de bajo mantenimiento y alto grado de prestancia. Cabe aclarar que ya se han realizado mediciones y han arrojado resultados óptimos en torno al comportamiento acústico de la sala en referencia a las reverberaciones y homogeneidad espacial.



Las distintas bandas de frecuencia se encuentran dentro de los márgenes de diseño y se relacionan con los materiales usados como revestimientos interiores que son compatibles con el uso que se le dará al espacio (la presencia de público en el SUM absorberá energía acústica lo que provocará que la curva se aplane y se eviten las fluctuaciones observadas en la medición). Por todo lo expuesto la sala presenta muy buenas condiciones acústicas. (Farina et al., 2015)

Asimismo los accesos y sistemas circulatorios compuestos por escaleras y ascensores que interconectan a los distintos niveles intentan eliminar por completo las barreras arquitectónicas a fin de integrar personas de distintas capacidades y lograr así el mayor grado de “accesibilidad” posible

Conclusiones

El edificio ya fue inaugurado siendo utilizado en variados eventos y en periodos extremos de verano e invierno, previos y posteriores a su inauguración, arrojando resultados óptimos en su funcionamiento. De todas maneras resta un periodo de adaptación o puesta en régimen para poder evaluar definitivamente el ahorro energético del mismo. Se enumeran a continuación algunas de las características que lo hacen sustentable:

- Interacción con su entorno, tratando de minimizar el impacto ambiental que genera un edificio escolar de estas características, generando espacios culturales de interacción con la comunidad que posibilitan además generar recursos económicos genuinos para el mantenimiento de las nuevas instalaciones.
- Optimización y reconversión de un edificio obsoleto. Economía de recursos y revalorización del patrimonio.
- Utilización de recursos naturales disponibles en pos de lograr el mejor confort edilicio. Cabe aclarar que solo un 12% del costo total del edificio fue utilizado para hacerlo sustentable. Costo comparable con cualquier rubro de la ejecución de la obra.

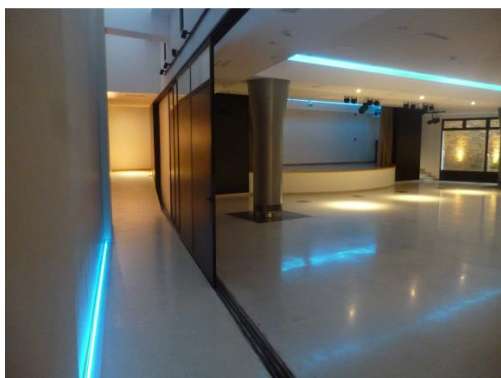
- Eficiencia energética, logrando un bajo costo de operatividad y mantenimiento, dos requerimientos centrales en edificios escolares. La certificación obtenida es la primera en la Ciudad de la Plata, lo que hace a este edificio pionero en esta temática.

La sustentabilidad en la arquitectura es un tema que abarca distintas realidades y requiere de múltiples enfoques, para lograrla necesita ciertos presupuestos:

Capacitarnos, para hacer frente a los nuevos desafíos, utilizando nuevas tecnologías.

Asociarnos, para lograr potenciar y brindar calidad a nuestros edificios, para ello es necesario interactuar con distintas disciplinas, en este proyecto participaron más de 10 especialistas logrando una verdadera fusión de profesiones. Enfoque transdisciplinario

Comprometernos, en el cumplimiento normativo de eficiencia y ahorro energético, generando conciencia de cambio a fin de lograr dar pasos concretos en esta línea.



“El bioclimatismo en la arquitectura es posible”



Fuete: Fotografías tomadas por el autor.

Bibliografía

Czajkowski, Jorge Daniel; Gómez, Analía Fernanda. (2007). *Arquitectura Sustentable. Revista Clarin Arquitectura. (Primer fascículo, pag.1)*

Norma IRAM 11900:2010. *Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente.* Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Ley 13059 :2003y Decreto Reglamentario 1030 :2010. *Ley de acondicionamiento Térmico de Edificios.*

Autores

Guillermo Omar Mariano, Arquitecto, Proyectista y Director de Obras, postgrado en: Acústica Arquitectónica, Sistemas de Construcción en Seco, Accesibilidad- Barreras Arquitectónicas, Eficiencia Energética y Diseño Sustentable. Planificador Urbanista en el Área de Ordenamiento Ambiental Territorial. Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, Pcia. Buenos Aires. Cursando actualmente la Maestría en Hábitat y Arquitectura Sustentable.

Evaluación de confort visual en escenas con iluminación natural directa

Julieta A. Yamin G.¹, Elisa M. Colombo², Roberto G. Rodríguez³, Andrea E. Pattini⁴

Resumen

En regiones con clima árido y elevado número de días con cielo claro resulta muy ventajoso iluminar los espacios interiores con luz natural, logrando ahorros energéticos y beneficios en los usuarios. Para ello es necesario un adecuado análisis y control de la luz solar. En este trabajo se evaluaron 15 oficinas que presentan manchas de sol en el área de trabajo. Estas oficinas se evaluaron a través de métricas subjetivas y objetivas: nivel de iluminancia, relaciones de luminancia, riesgo de deslumbramiento, uniformidad, entre otras, tomándose como referencia las medidas subjetivas. Los resultados mostraron que de las 8 métricas evaluadas, sólo cuatro presentaron correlaciones moderadas $r > 0.5$ con la sensación de los usuarios, la iluminancia vertical al ojo, análisis de luminancias en campo de visión cercana y valores de uniformidad utilizadas en conjunto son una herramienta más descriptiva de las escenas con luz natural. En este sentido, este estudio indica que es recomendable utilizar más de una métrica en escenas con luz natural, profundizando el análisis de imágenes HDR, cuyo poder de diagnóstico es aún poco aprovechado.

Palabras claves: confort visual, deslumbramiento, iluminación natural.

^{1, 3 y 4} . INCIHUSA- CCT-CONICET Mendoza. Avenida Ruiz Leal s/n Parque Gral. San Martín. Mendoza – Argentina. CP 5500. Tel: +54 (261) 524-4322. E-mail: jyamin@mendoza-conicet.gob.ar.

² Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. CCT-CONICET-Tucumán. Argentina. Av. Independencia 1800, Tucumán – Argentina, CP 4000 Tel - Fax: +54 - 0381 – 4361936. E-mail: ecolombo@herrera.unt.edu.ar.

Visual comfort evaluation in presence of direct daylight in office

Abstract

In regions with arid climate and many clear-sky days it is very advantageous to illuminate the interior spaces with daylight, achieving energy savings and benefits for users. It is therefore necessary an adequate analysis and sunlight control. A total of 15 offices with sunspots over the work space were evaluated. These offices were evaluated through objective and subjective metrics developed to assess daylight spaces: level of illuminance, luminance ratios, risk of glare, uniformity, among others, taking as reference values subjective data. The results showed that of the 8 metric evaluated, only four showed moderate correlations $r > 0,5$ with users perception. Vertical illuminance at eye, luminance analysis in the near field of view and uniformity values were a more descriptive tool in daylight scenes used together. In this way, this study suggests that it is suitable the use of more than one metric in daylight scenes, deepening in the HDR-image analysis, whose diagnostic power is still an underdeveloped area.

Keywords: visual comfort, glare, daylighting.

Introducción

En las zonas geográficas con clima árido donde predominan los cielos claros, como el caso de la provincia de Mendoza, hay una gran disponibilidad de luz natural. En estas zonas se registran valores de iluminancia horizontal global muy elevados (Eh global directa: 120000lx; Eh global difusa: 60000) (Pattini, 2007). Esta enorme disponibilidad de luz natural tiene aplicaciones directas sobre el bienestar de las personas, siempre y cuando esté acompañada de un adecuado control solar. Una correcta iluminación de los espacios con luz natural contribuye en la regulación del sistema circadiano (Webb, 2006). También se ha asociado a las luz natural con mejoras en el humor, la productividad y la satisfacción de los usuarios (Galasiu & Veitch, 2006). Sin embargo, dada la gran variabilidad de la luz solar, para lograr estos beneficios en los usuarios es necesario un adecuado control de la luz solar.

El análisis de la dinámica de la luz natural apunta entre otras cosas a lograr el confort visual. La Comisión Internacional de iluminación (CIE) sostiene que el confort visual está asociado al control de distribución de luminancias, iluminancias, deslumbramiento, direccionalidad de la luz, aspecto del color de la luz y superficies, parpadeos (CIE S 008/E, 2000). Por otra parte, Carlucci et al. afirman que los índices de confort visual estudian la relación entre las necesidades humanas y el ambiente lumínico y propone una clasificación de los mismos en cuatro grandes categorías: a) cantidades de luz, b) uniformidad de la luz, c) deslumbramiento y d) calidad de la luz. Dentro de estas cuatro categorías, los índices pueden a su vez funcionar para iluminación natural o artificial. Siguiendo su clasificación (Carlucci, Causone, De Rosa, & Pagliano, 2015), algunos de los índices para funcionar con iluminación natural son:

Cantidades de luz: los valores de iluminancia son muy utilizados por su simplicidad, sin embargo, las recomendaciones pueden ser muy diferentes. Algunos estudios sugieren que los valores de iluminancias para las personas que trabajan en PVD (más del 70% de tu tiempo laboral) van desde 100lx a 300lx (Escuyer & Fontoynt, 2001), otros estudios superan ampliamente este valor, llegando

a recomendar valores de hasta 3000lx (Van Den Wymelenberg, Inanici, & Johnson, 2010) según el contexto y la tarea visual.

Deslumbramiento: Es uno de los factores que requieren mayor control a la hora de iluminar con luz natural. Existen múltiples modelos para evaluar el deslumbramiento. Para luz natural los modelos más validados son el DGI (Hopkinson, 1971) y DGP (Wienold & Christoffersen, 2006). El DGI funciona en presencia de luz difusa observable a través de la ventana. Sin embargo, como no fue desarrollado bajo condiciones de iluminación natural en espacios reales, no es confiable cuando ingresa luz solar directa en la habitación. El DGP es el modelo que mejor predice situaciones con ingreso luz solar directa (Jakubiec & Reinhart, 2012; Yamin, Rodriguez, Ruiz, & Pattini, 2014). La base de este modelo es comparar áreas de alta luminancia con respecto a la iluminancia vertical que llega al ojo. El deslumbramiento no depende solamente de valores absolutos de luminancia, sino también de valores relativos y contraste, usualmente expresado como relaciones de luminancias. La relación de luminancias entre la fuente y la tarea recomendada por la IESNA es de 20:1 (DiLaura, Houser, Mistrick, & Steffy, 2010), sin embargo, hay una falta de especificación de como calcular estos datos (Van Den Wymelenberg & Inanici, 2014).

Uniformidad: Es la relación entre el valor mínimo de iluminancia en el plano de trabajo y la iluminancia máxima o el promedio de iluminancias en el mismo plano. Muchos autores recomiendan altos niveles de uniformidad evitando filtraciones de sol sobre puestos de trabajo o sobre el campo visual de los ocupantes en pos de alcanzar su confort visual (Boyce, Hunter, & Howlett, 2003; Galasiu & Veitch, 2006; Lim & Kim, 2010). Sin embargo, numerosos estudios muestran que hay presencia de luz solar directa no controlada en las oficinas. Esta luz directa puede ingresar en las habitaciones en forma de manchas dinámicas, las cuales producen relaciones de iluminancia que están lejos de los niveles recomendado (Parpairi, Baker, Steemers, & Compagnon, 2002). La presencia de luz directa producto de la falta de regulación de los dispositivos (Foster & Oreszczyn, 2001; Van Den Wymelenberg, 2012) está asociada a diferentes causas, una de ellas es que los ocupantes fijan sus persianas según las ganancias térmicas y lumínicas a largo plazo; y no por los cambios de la condición de cielo en un día (Zhang & Barrett, 2012). Otra causa está relacionada al efecto placentero que produce el ingreso de luz natural, según estudios de preferencias en donde los participantes eligieron el ingreso de luz directa en su oficina (Boubekri & Boyer, 1992; Van Den Wymelenberg et al., 2010).

Es importante mencionar que existe un falta de consenso por la comunidad científica sobre qué métrica utilizar y con qué criterio aplicarla, especialmente, en espacios con ingreso de luz solar directa. Esta falta de consenso es debido a las inconsistencias en los estudios de confort visual que dan soporte a estas recomendaciones (Van Den Wymelenberg et al., 2010). Por este motivo, en escenas complejas con luz natural, las métricas existentes muchas veces no se corresponden con la sensación de los usuarios. Esto nos conduce a plantear la hipótesis de que los factores actuales de confort visual no contemplan adecuadamente las particularidades de la iluminación natural en climas soleados como fuente principal de iluminación de espacios de trabajo.

En este trabajo se aplicaran índices de confort visual (iluminancias, uniformidad, deslumbramiento) en espacios de trabajo en presencia de luz solar directa. Con el objetivo de evaluar y comparar estas métricas tomando como valor de referencia las respuestas subjetivas de los usuarios y así conocer cuál es la métrica que mejor se ajusta a la respuesta de las personas.

Metodología

Caso de estudio: Se seleccionaron 15 oficinas con ingreso de luz solar directa en el puesto de trabajo. Las oficinas se encuentran emplazadas en el centro científico tecnológico CCT-Mendoza, en planta alta orientadas al este (Figura 1). La dimensión de las oficinas es de 4,62x2,32m, con una abertura de 1,56x1,8m compuesta de tres paños (Figura 3). El elemento de control solar común a todas las oficinas son parasoles horizontales exteriores móviles (Figura 2) y el elemento de control solar que varía en cada oficina son cortinas ubicadas en el paño 1, colocadas por los ocupantes en busca de confort visual. Éstas pueden ser cortinas de tela o mimbre.

Participantes: Los participantes fueron 4 hombres y 11 mujeres pertenecientes a las 15 oficinas relevadas de entre 25 y 50 años de edad. El relevamiento tomó 4 días, las oficinas fueron evaluadas entre las 9 y 10:30 de la mañana en el mes de marzo de 2015. Cada participante debía trabajar con su Pantalla de Visualización de Datos (PVD), realizando sus tareas habituales, se le proporcionó un cuestionario y posteriormente se tomaron las medidas fotométricas.

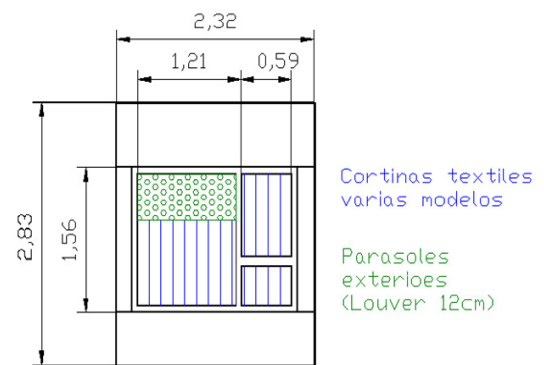
Figura 1. Ubicación de las oficinas en el predio.



Figura 2. Fachada de las oficinas.



Figura 3. Vista interior de las ventanas.



Fuente: Figura realizada por el autor

Medidas subjetivas

La evaluación subjetiva de confort visual se realizó mediante una encuesta que consta de diferenciales semánticos y preguntas de múltiple opción. La encuesta se compone de 5 preguntas:

Cantidad de luz: La pregunta Q1 hace referencia a la intensidad percibida de la mancha y Q2 a qué asocia dicha intensidad. Ambas son diferenciales semánticos de cinco puntos.

Q1 ¿Qué intensidad tienen las manchas de luz? *Demasiada baja / demasiado alta*

Q2 ¿Cuál es la valoración de su entorno luminoso? *Poco satisfactorio / muy satisfactorio*

Uniformidad: La pregunta Q3 tiene por objetivo asegurarnos de que las personas son conscientes de la presencia de manchas de luz sobre su puesto de trabajo y de la falta de uniformidad.

Q3 ¿Qué factores influyen en la valoración de su entorno luminoso? *1-manchas de sol 2- poca iluminación 3-sombras 4-falta de uniformidad*

Deslumbramiento: La pregunta Q4 mide el nivel de deslumbramiento percibido, esta se midió con la escala GSV (Glare Sensation Vote) (Iwata & Tokura, 1997). Esta escala fue presentada a los participantes mediante una escala ordinal de 4 puntos: 1- imperceptible, 2- aceptable, 3- perturbador y 4- intolerable. La definición de cada punto de la escala fue presentada a los participantes. Cada categoría de deslumbramiento está asociada al periodo de tiempo aproximado en que el sujeto puede tolerar el deslumbramiento.

Q4 ¿Qué grado de deslumbramiento experimentó al leer en la pantalla?

Espacialidad: Q5 hace referencia a la espacialidad percibida de la mancha.

Q5 ¿Qué ubicación tienen las manchas de luz? *Lejos de la tarea / cerca de la tarea*

Medidas objetivas

Iluminancias: Medición al inicio de la tarea de iluminancia horizontal del plano de trabajo (tres puntos de medición) e iluminancia vertical a nivel del ojo (un punto de medición). Esta última es la medida fotométrica que mejor correlaciona con predicción de deslumbramiento (Wienold, 2009). Se midió con un luxímetro con sensor de iluminancia marca LMT con rango de 0,1 a 120000 lux con corrector de coseno y filtro v de lambda.

Uniformidad de iluminancias: Para calcular la media en el plano de trabajo y la uniformidad de iluminancias, se midió la iluminancia horizontal en el plano de trabajo a partir de 3 puntos de medición mediante la siguiente fórmula (Slater & Boyce). Es importante destacar que muchos autores sostienen que este criterio no es apropiado para interiores iluminados con ventanas, donde la tolerancia a la uniformidad puede ser mayor que con la luz artificial.

$$E_{\min} / E_{\max} = >0,5 < 0,7 \quad (1)$$

Dónde: E_{\min} iluminancia mínima en el plano de trabajo, E_{\max} iluminancia máxima en el plano de trabajo

Deslumbramiento: El primer paso para calcular el deslumbramiento fue generar mapeos de luminancia a partir de imágenes fotográficas de alto rango dinámico HDR. Estas HDR se componen a partir de 8 imágenes fotográficas de bajo rango dinámico LDR tomadas con una cámara "Nikon Coolpix 5400" con lente ojo de pez "Nikon FC-E9". Cada LDR se tomó posicionando la cámara en el lugar de los sujetos, a la altura y posición de sus ojos; variando la velocidad de obturación para obtener un conjunto de imágenes con distinta exposición a la luz. Las 8 LDR fueron procesadas en "Photosphere" para obtener la HDR. Para que la información almacenada en las imágenes HDR se corresponda con los valores físicos de luminancia del mundo real, estas fueron calibradas con un luminancímetro "Minolta LS100". El porcentaje de error del método HDR es menor a un 10% (Inanici, 2006). El segundo paso para calcular el deslumbramiento a partir de las imágenes HDR es con el programa Evalglare de Radiance (Wienold & Christoffersen, 2006). Se parte de la detección de la fuente de deslumbramiento. Este paso es de gran importancia ya que el nivel de deslumbramiento dependerá en gran medida de cómo fueron computados los píxeles de la imagen. Se eligió el umbral de detección en relación a la tarea.

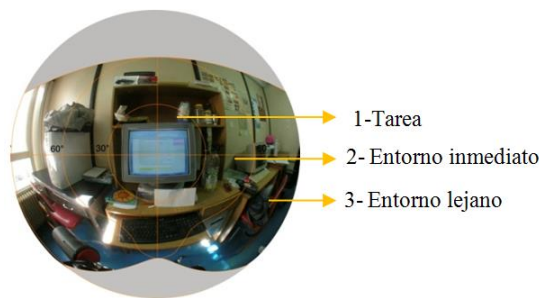
Tabla 1. Relación entre DGP y GSV

| GSV | Imperceptible | Notable | Perturbador | Intolerable |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|
| DGP | <0,30 | 0,30 – 0,35 | 0,35– 0,45 | >0,45 |

Análisis de luminancias: Mediante el software HDRscope (Kumaragurubaran & Inanici, 2013), se calculó la distribución de luminancias de la escena. En este estudio se realizaron dos análisis de luminancias: 1- Relaciones de luminancia: Cálculo de la luminancia media de la fuente en relación a la luminancia media de la tarea: Relaciones entre la tarea visual y el entorno inmediato 1:3 y superficies cercanas 1:10 entorno lejano 1:20. (Figura 5). 2- Evaluación según criterio: Cálculo del porcentaje de píxeles de la región seleccionada que sean mayores a 2000cd/m². Las regiones seleccionadas fueron 2- Entorno inmediato y 3- Entorno lejano (Figura 5).

Espacialidad: Se determinó el lugar que ocupan las manchas en el campo de visión del observador a través de una máscara que divide la escena en 3 (Figura 5).

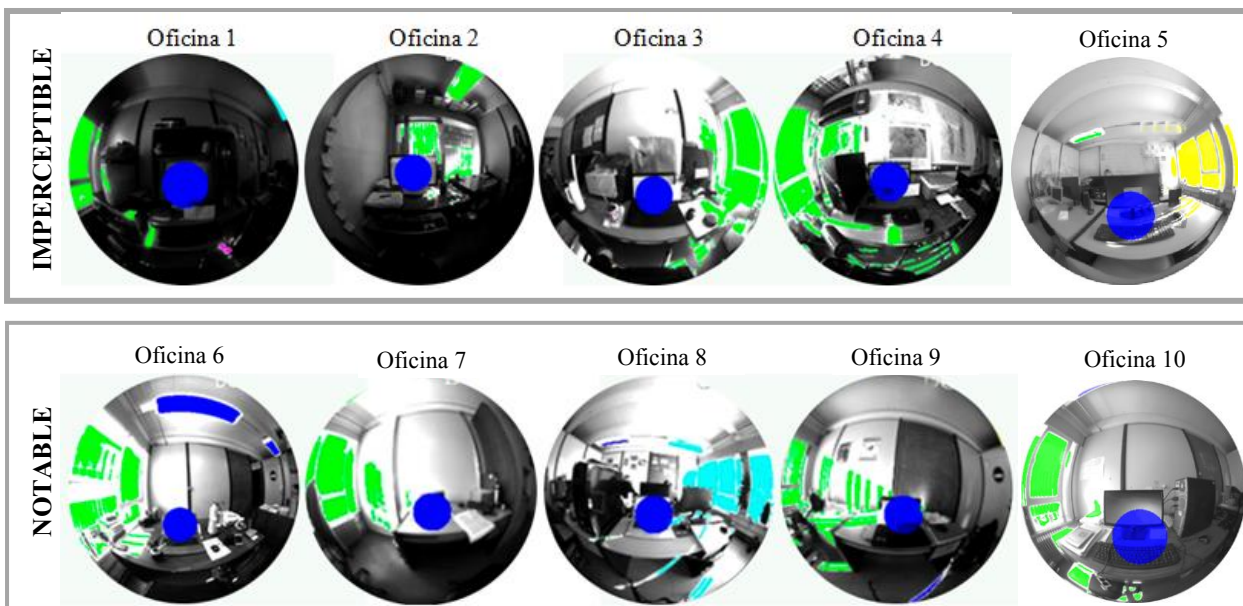
Figura 5. Área de visión

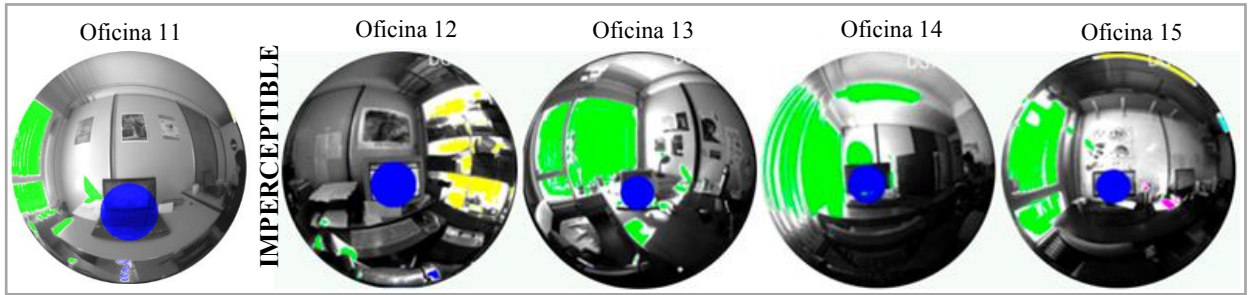


Resultados

Las 15 oficinas fueron clasificadas según la escala GSV (percepción de deslumbramiento real de los usuarios) en escenarios definidos como: imperceptible, notable y perturbador, esta clasificación se mantiene en todo el análisis de los resultados.

Figura 6. HDR de las 15 oficinas según de GSV





Intensidad y espacialidad: La tabla 2 muestra valores de intensidad y espacialidad percibida por los participantes, la obtenida de mediciones fotométricas y su relación (Pearson).

Tabla 2. Medidas fotométricas y de respuestas subjetivas. Ev: iluminancia vertical, Eh: iluminancia horizontal sobre el puesto de trabajo, DE: desviación estándar, I: imperceptible, N: notable, P: perturbador.

| Oficinas | Subjetivo | Objetivos | | | Subjetivo | Objetivo | |
|----------|-----------|-----------|------|---------|-----------|----------|---|
| | Q1 | Ev | Eh | DE | Q5 | zonas | |
| I | 1 | 1 | 300 | 1547 | 2125,88 | 3 | 3 |
| | 2 | 1 | 400 | 329,33 | 68,85 | 4 | 2 |
| | 3 | 4 | 750 | 2328,01 | 3249,68 | 2 | 3 |
| | 4 | 3 | 800 | 6371,67 | 10073,35 | 4 | 3 |
| | 5 | 2 | 850 | 800,21 | 100 | 5 | 1 |
| N | 6 | 4 | 1100 | 5800,00 | 8662,56 | 2 | 2 |
| | 7 | 3 | 900 | 296,67 | 105,03 | 4 | 2 |
| | 8 | 5 | 850 | 4290,00 | 6245,10 | 5 | 1 |
| | 9 | 3 | 1150 | 8040,33 | 13060,62 | 3 | 1 |
| | 10 | 4 | 840 | 9580,50 | 16241,5 | 3 | 2 |
| | 11 | 3 | 920 | 858,00 | 52,3 | 3 | 2 |
| P | 12 | 5 | 850 | 7700,00 | 11821,48 | 4 | 2 |
| | 13 | 4 | 725 | 523,33 | 87,36 | 4 | 1 |
| | 14 | 5 | 850 | 375,00 | 139,19 | 5 | 1 |
| | 15 | 5 | 900 | 637,00 | 508,53 | 3 | 2 |

Los valores de intensidad de la luz muestran que, por un lado, respecto a los valores de iluminancia horizontal en el plano de trabajo, estos valores fueron muy variados $SD=5695,56$, y según el criterio de evaluación que seleccionemos, podemos decir que todas las oficinas estuvieron por encima de los valores de iluminancia horizontal recomendados según el criterio de Mardaljevich (100 a 300lx) o bien que todas estuvieron dentro del rango de luminancia tolerables (3000lx) tomando el criterio de Wymelemborg. Por otro lado, la correlación entre Q1 y Ev fue elevada y significativa ($r=0,591$, $p=0,02$), mientras que la correlación entre Q1 y Eh fue muy baja y no significativa ($r=0,262$, $p=0,345$). Es importante destacar que en las oficinas 7, 9 y 14 las manchas se encontraban principalmente en el plano vertical. De los valores de correlación podemos decir que los valores de iluminancias son una métrica sencilla, de fácil obtención y lectura. Respecto a la Eh, se debería haber complementado con valores de iluminancia vertical en la pared para tener una medida más representativa de la escena. Respecto a la Ev, esta fue una medida mucho más descriptiva de la escena.

Los valores de espacialidad muestran que existe una correlación moderada y significativa con la percepción de la misma por parte de los usuarios ($r=-0,56$, $p=0,028$), indicando que el lugar que ocupa la mancha dentro del campo de visión afecta efectivamente la percepción lumínica de los participantes.

Uniformidad: Respecto a los valores de uniformidad percibidos por la personas, casi todas las oficinas fueron consideradas como no uniformes, excepto las oficinas 1, 2, 5 y 6. Respecto al cálculo de uniformidad casi todas las oficinas fueron menores a 0,5, es decir fueron no uniformes excepto la oficina 2, 5, 11 y 13 con valores de uniformidad de 0,7, 0,65 y 0,78. El porcentaje de acierto entre la uniformidad percibida y calculada fue alta (75%). Esto indica que la percepción de uniformidad coincide efectivamente con su cálculo.

Deslumbramiento: La tabla 3 muestra el deslumbramiento percibido y calculado por las diferentes métricas

Tabla 3. RL_L - RL_I: (relación de luminancias en el entorno lejano - inmediato), %_L - %_I: (porcentaje de pixeles mayores a 2000 cd/m² en el entorno lejano - inmediato).

| | GSV | DGP | DGP(GSV) | RL_L | RL_I | %_L | %_I |
|----|-----|------|----------|--------|-------|------|-------|
| 1 | 1 | 18 | 1 | 145,89 | 6,04 | 0,48 | 0,7 |
| 2 | 1 | 18 | 1 | 21,54 | 4,01 | 0,17 | 0,39 |
| 3 | 1 | 23 | 1 | 172,11 | 46,22 | 0,81 | 3,03 |
| 4 | 1 | 21 | 1 | 158,87 | 8,34 | 0,6 | 5,07 |
| 5 | 1 | 22 | 1 | 62,09 | 6,59 | 0,5 | 5,08 |
| 6 | 2 | 26 | 1 | 69,54 | 3,4 | 1,11 | 4,13 |
| 7 | 2 | 21 | 1 | 41,52 | 1,71 | 0,44 | 3,16 |
| 8 | 2 | 22 | 1 | 69,13 | 1,71 | 0,34 | 3,64 |
| 9 | 2 | 23 | 1 | 116,34 | 7,07 | 1,6 | 1,03 |
| 10 | 2 | 22 | 1 | 45,11 | 37,45 | 1,75 | 2,2 |
| 11 | 2 | 21 | 1 | 26,37 | 13,34 | 1,2 | 5,04 |
| 12 | 3 | 22 | 1 | 53,94 | 10,13 | 4,75 | 3,49 |
| 13 | 3 | 22 | 1 | 68,2 | 8,26 | 1,01 | 1,15 |
| 14 | 3 | 25 | 1 | 83,49 | 8,16 | 6,45 | 2,12 |
| 15 | 3 | 22 | 1 | 97,9 | 4,26 | 1,6 | 3,33 |
| | r | 0,46 | - | -0,33 | -0,25 | 0,64 | -0,06 |

La correlación de la percepción de deslumbramiento con el cálculo del mismo lo dividimos en tres etapas:

Por un lado, el deslumbramiento calculado por el índice DGP muestra un valor menor a 0,3 en las 12 oficinas, lo que equivale a una sensación de deslumbramiento “imperceptible”. Sin embargo, la correlación entre DGP y GSV fue de 0,46 mostrando que el DGP se corresponde en un 56% con la respuesta de las personas. Los datos muestran que el umbral entre imperceptible y notable estaría alrededor de 0,2 y no de 0,3. Sin embargo, este es un dato estimativo, ya que para correr los umbrales de la escala se necesita un mayor número de casos y más estudios de validación.

Por otro lado, respecto a las relaciones de luminancias. En el entorno lejano, sólo la oficina 2 estuvo dentro de rango establecido (20:1). La correlación observada entre RL_L y GSV fue negativa, lo que indica que es un indicador que no representa la sensación de las personas. Por su parte en el entorno inmediato 3 oficinas estuvieron dentro del rango establecido (3:1) la correlación con la respuesta de las personas fue muy baja, siendo un indicador pobre.

Por último, la correlación entre GSV y el porcentaje de pixeles mayores a 2000 del entorno lejano fue de ($r=0,064$; $p=0,843$) mientras que con el entorno inmediato fue de ($r=0,642$; $p=0,024$). De los datos de luminancias reportados podemos finalmente concluir que las relaciones básicas de luminancias no representan la percepción de las escenas relevadas. Sin embargo, se observó que el análisis de luminancias que se encuentran en el campo de visión cercana tuvo una correlación moderada y significativa con la percepción de los usuarios. Datos que sugieren ajustes para el factor de posición o un análisis de la escena reducida.

Conclusiones

Los resultados muestran que de las 8 métricas empleadas en las 15 oficinas con ingreso de luz natural directa, sólo cuatro métricas fueron descriptivas de las situaciones lumínicas. Estas fueron la iluminancia vertical a los ojos, la uniformidad y el análisis de luminancias altas en el entorno cercano. Es importante destacar que estas métricas utilizadas individualmente no son tan descriptivas como utilizadas en conjunto.

De este trabajo podemos sacar las siguientes conclusiones:

-Iluminancia vertical, es muy útil por su gran simplicidad, ayudando a comprender el estado de adaptación del observador, sin embargo no aporta suficiente información de la escena.

-Luminancia de la escena en el campo de visión cercano es más representativa que en el campo de visión lejano. Las fuentes deslumbrantes que están más cerca de la tarea tienen mayor peso en la sensación de deslumbramiento, mientras que el peso de las fuentes del entorno lejano es mucho menor. Resultados que se confirmaron con los datos de percepción de espacialidad, estos mostraron que el lugar que ocupa la mancha dentro del campo de visión efectivamente afecta la percepción lumínica de los participantes.

-El modelo DGP indica que el umbral para definir una escena como imperceptible es menor 0,3 o 30%. En nuestra muestra se observó que el umbral entre imperceptible y notable estuvo en 0,2. o 20%. Este dato se presenta en forma de aproximación o tendencia ya que se necesitan mayores estudios de validación.

-Por último, las imágenes HDR tienen una gran cantidad de información disponible con gran poder de diagnóstico y que requiere mayor explotación.

Bibliografía

Boubekri, M., & Boyer, L. L. (1992). Effect of window size and sunlight presence on glare. *Lighting Research and Technology*, 24(2), 69–74. doi:10.1177/096032719202400203

- Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). The Benefits of Daylight through Windows Sponsored by : Capturing the Daylight Dividend Program The Benefits of Daylight through Windows. *Exposure*, 1–88.
- Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 1016–1033.
- CIE S 008/E. (2000). Lighting of Indoor Work Places. In *CIE Publication Vienna, Austria*. (p. N S 0081/E). JSTOR.
- DiLaura, D. L., Houser, K. W., Mistrick, R. G., & Steffy, G. R. (2010). *The lighting handbook: Reference and application*. Illuminating Engineering Society of North America New York (NY).
- Escuyer, S., & Fontoynt, M. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Lighting Research and Technology*, 33(2), 77–94.
- Foster, M., & Oreszczyn, T. (2001). Occupant control of passive systems: the use of venetian blinds. *Building and Environment*, 36(2), 149–155.
- Galasiu, A. D., & Veitch, J. a. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. *Energy and Buildings*, 38(7), 728–742. doi:10.1016/j.enbuild.2006.03.001
- Hopkinson, R. G. (1971). Glare from windows. *Construction Research and Development Journal*, 2, 95–105.
- Inanici, M. N. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research and Technology*, 38(2), 123–134.
- Iwata, T., & Tokura, M. (1997). Position Index for a glare source located below the line of vision. *Lighting Research and Technology*, 29(3), 172–178.
- Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2012). The “adaptive zone”--A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. *Lighting Research and Technology*, 44(2), 149–170.
- Kumaragurubaran, V., & Inanici, M. (2013). Hdrscope: high dynamic range image processing toolkit for lighting simulations and analysis. In *Proceedings of the BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association* (pp. 25–28).
- Lim, H. S., & Kim, G. (2010). Predicted performance of shading devices for healthy visual environment. *Indoor and Built Environment*, 19(4), 486–496.
- Parpairi, K., Baker, N., Steemers, K., & Compagnon, R. (2002). The Luminance Differences index: a new indicator of user preferences in daylit spaces. *Lighting Research and Technology*, 34(1), 53–68. doi:10.1191/1365782802li030oa

- Pattini, A. (2007). *Eficiencia lumínico-térmica de dispositivos de control y difusión de luz solar aplicables a ventanas en aulas, en la provincia de Mendoza. Tesis doctoral*. Universidad Nacional de Tucumán.
- Van Den Wymelenberg, K. (2012). Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. *Energy and Buildings*, 51, 165–176. doi:10.1016/j.enbuild.2012.05.008
- Van Den Wymelenberg, K., & Inanici, M. (2014). A critical investigation of common lighting design metrics for predicting human visual comfort in offices with daylight. *Leukos*, 10(3), 145–164.
- Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., & Johnson, P. (2010). The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylighted office environment. *Leukos*, 7(2), 103–122.
- Webb, A. R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy and Buildings*, 38(7), 721–727.
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 38(7), 743–757. doi:10.1016/j.enbuild.2006.03.017
- Yamin, J., Rodriguez, R. G., Ruiz, A., & Pattini, A. E. (2014). Degree of eye opening: A new discomfort glare indicator. *Building and Environment*.
- Zhang, Y., & Barrett, P. (2012). Factors influencing occupants' blind-control behaviour in a naturally ventilated office building. *Building and Environment*, 54, 137–147.

Autores

Julieta A. Yamin es Diseñadora Industrial, Becario Doctoral CONICET CCT- MENDOZA. jyamin@mendoza-conicet.gob.ar.

Elisa M. Colombo es Doctora – Licenciada en Física, Investigadora principal CONICET. ecolombo@herrera.unt.edu.ar.

Roberto G. Rodriguez es Doctor - Diseñador Industrial, Investigador asistente CONICET. rrodriguez@mendoza-conicet.gob.ar.

Andrea E. Pattini es Doctora – Diseñadora Industrial, Investigador principal CONICET. apattini@mendoza-conicet.gob.ar.

05. Eficiencia energética edilicia

Relevancia de la materialidad de la envolvente exterior en el diseño edilicio energético sustentable en clima cálido

Cecilia Fernanda Martinez¹

Resumen

Se presenta el análisis del comportamiento termo-energético de envolventes exteriores, para el área del Gran San Miguel, en la provincia de Tucumán, zona de clima estival cálido e invierno atemperado. El objetivo es mostrar la influencia de las decisiones de diseño y materialidad constructiva sobre el comportamiento energético del edificio. Se evalúan soluciones constructivas de uso común en nuestro medio y algunas de nueva tecnología que comienzan a incorporarse al sector de la construcción. Los análisis se desarrollan utilizando un programa de evaluación energética de acceso libre, desarrollado por el Gobierno de Canadá. El mismo permite calcular demandas energéticas de climatización, comparar costos de propuestas y períodos de amortización de la inversión. Los resultados manifiestan la importancia de la elección de los materiales de la envolvente en el desempeño energético edilicio, y como la adecuada consideración de una mayor inversión en el costo inicial de construcción, para mejora del desempeño térmico de la envolvente, resulta en la disminución de la necesidad de acondicionamiento artificial para calefacción y refrigeración.

Palabras clave: eficiencia energética, comportamiento térmico, materiales constructivos, habitabilidad.

Relevance of external surfaces materials in energy and sustainable built design in hot climate

Abstract

This study shows the evaluation of the thermal and energetic characteristics in some types of external surfaces used in a climate with hot summer and warm winter seasons. The main goal is demonstrated the relevance that has some decisions about external materials in the energy behavior buildings and its adaptability to the climate conditions in a region with hot and humid dominion characteristic. Some traditional and other new constructive solutions were evaluated using a free energy program developed by the Canadian Government, which calculated thermal gains, artificial

¹ Centro de Estudios Energía, Hábitat y Arquitectura Sustentable (CEEHAS), Instituto de Acondicionamiento Ambiental, FAU, UNT. Av. N. Kirchner 1900, CP 4000, S.M. de Tucumán, Tucumán, Argentina Email cmartinez@herrera.unt.edu.ar

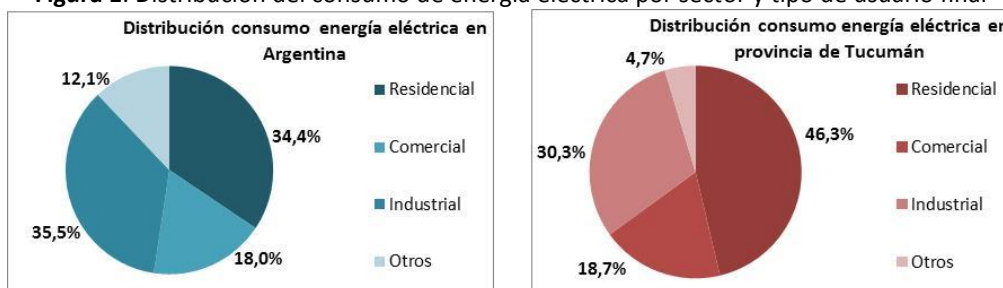
conditioning costs and amortization period. The results shows the relevance that has the correct selection of the external surfaces in the energetic efficiency of a building, and how a major inversion in initial cost constructions aims a significant reduction in the artificial conditioning needs, as well as the reduction in energy cost.

Keywords: energy efficiency, thermal behavior, construction materials, habitability.

Introducción

Los edificios, que conforman nuestras ciudades, tienen hoy en día una participación innegable en el incremento del consumo de energía y en la contaminación asociada, debido a la búsqueda de condiciones de confort cada vez más elevadas que requieren sus usuarios, siendo el sector residencial el de mayor crecimiento en los últimos años en Argentina, según los datos de análisis de los informes aportados por la Secretaría de Energía de la Nación, como se observa en la Figura 1.

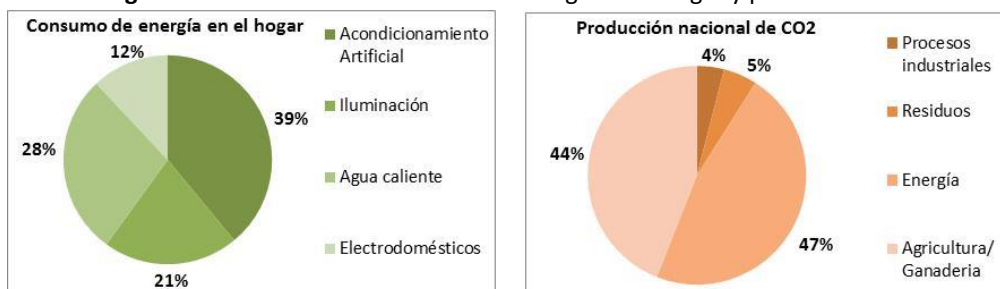
Figura 1. Distribución del consumo de energía eléctrica por sector y tipo de usuario final



Fuente: Elaboración propia según datos Secretaría de Energía (Secretaría de Energía, 2013).

El acondicionamiento térmico es uno de los ítems más relevantes, debido al alto consumo de energía para refrigeración y calefacción, para lo que se utiliza en mayor medida la energía eléctrica, según datos de relevamientos realizados en el ámbito urbano de la Provincia (Martinez, 2004). Desde el punto de vista de la sustentabilidad, el sector de la producción de energía genera en Argentina el 47% de las emisiones de CO₂, y el consumo de energía per cápita es responsable de más del 20% del CO₂ producido por el argentino medio, condiciones que se muestran en la Figura 2.

Figura 2. Distribución de consumo de energía en el hogar y producción de CO₂



Fuente: Elaboración propia según datos de fuentes; (INTI, 2010) izquierda – (SAyDS, 2008), derecha.

Siendo así, la responsabilidad que recae en los profesionales del área de la construcción de edificios resulta de suma importancia, dado que sus decisiones al definir las características materiales de una obra, condicionan el comportamiento térmico de la misma y con ello su consumo de energía para acondicionamiento artificial. Diversos trabajos de referencia demuestran la importancia que tienen

las decisiones de los diseñadores en la reducción del consumo energético (Di Bernardo y Perone, 1994), (Picción, Echeverría y Girardín, 1998), (Gonzalo et al, 2000), (Marincic e Isalgue, 2000).

Entre las decisiones de mayor influencia, la elección de los materiales a utilizar en la envolvente exterior es fundamental, considerando el importante intercambio térmico que se produce a través de ella, y que la misma resulta muy difícil de mejorar a posteriori, o en caso de realizarse implica costos elevados que no pueden ser afrontados por los usuarios.

El trabajo desarrollado se orienta a evaluar, termo-energéticamente y financieramente, algunas posibles soluciones de cerramientos exteriores, fundamentalmente verticales, determinando su adecuación a las Normas de Acondicionamiento Térmico, y evaluando mediante el programa RETScreen su comportamiento y los factores financieros asociados.

El programa RETScreen, “Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia”, es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones proyectuales en la construcción de edificios y en la aplicación de sistemas no convencionales de acondicionamiento y fuentes alternativas de energía. Desarrollado por el gobierno de Canadá, a través del centro de investigación del Canmet ENERGY, cuenta con el apoyo de una red internacional de expertos. El programa permite llevar a cabo un análisis que incluye: análisis energético, análisis de costos, análisis de emisiones CO₂, análisis financiero y análisis de sensibilidad y riesgo. Dispone de una amplia base de datos climáticos provisto por la NASA, permite el acceso a formación y consultas en línea, y a diversos casos reales de análisis desarrollados en todas partes del mundo (RETScreen, 2014).

Metodología

Se realizó el análisis de las condiciones climáticas de la zona geográfica de estudio, en base a los datos brindados por el Servicio Meteorológico Nacional, definiéndose luego las estrategias bioclimáticas correspondientes, mediante la aplicación de las metodologías de Olgyay, Exigencias bioclimáticas y Diagrama psicométrico con zonificación (Gonzalo, 2003).

A partir de las condicionantes de estrategias y pautas bioclimáticas, se planteó un prototipo básico de vivienda mínima que cumpliera con los requerimientos de forma, orientación y distribución de locales, a fin de adaptarse a las condicionantes planteadas. Usando este prototipo de modelo se realizaron las propuestas y evaluaciones de diferentes opciones de cerramientos exteriores alternativos, considerando como caso de base para las comparaciones los tipos de cubierta y muros de uso más común en la construcción de edificios en la provincia de Tucumán.

Para cada tipo de envolvente se calculó el coeficiente de transmitancia térmica mediante el programa CEEMAKMP (Gonzalo, 2003), comparando los mismos con el cumplimiento de los valores máximos establecidos por la Norma IRAM 11.605.

Se determinó el costo de construcción por unidad de superficie (\$/m²) de cada tipo de cerramiento propuesto, dato necesario para la evaluación económica. Los costos son en base al precio promedio de material y mano de obra de nuestro medio (costos a setiembre/octubre 2015).

Luego, aplicando el programa RETScreen, se determinó en cada tipología constructiva: - demanda de energía anual para acondicionamiento artificial (calefacción + refrigeración), - consumo de energía anual por metro cuadrado (kW/m²), y tres parámetros económico-financieros: tasa interna de retorno (TIR), período simple de retorno de capital (PSRC) y período de repago de capital (PRP).

Con los datos obtenidos se trabajó en dos etapas de comparación. Primero se evaluó la eficiencia termo-energética, comparando los coeficientes de transmitancia térmica y la demanda de energía anual para acondicionamiento térmico, seleccionándose los casos de mejor performance.

En la segunda etapa, se realizó la evaluación económica-financiera de los casos seleccionados, comparándolos siempre con el caso de base. En este análisis de viabilidad financiera se evalúan dos parámetros económicos de base, el pago simple de retorno de capital y el repago de capital, que son indicadores que permiten determinar el número de años que llevará recuperar la inversión inicial de capital extra necesario en cada caso, considerando el ahorro de energía y el costo de la misma.

El pago simple de retorno no considera la renta o los ahorros que se generan a futuro, después de recuperada la inversión del capital inicial, por lo que no es un buen indicador, ya que un proyecto con un período de reembolso corto, no necesariamente es una inversión más rentable frente a otra con un período de reembolso mayor, pero que puede generar mayores ganancias a largo plazo. El repago de capital, tiene en cuenta los flujos financieros factibles del proyecto, por lo que es un mejor indicador de los méritos de la inversión.

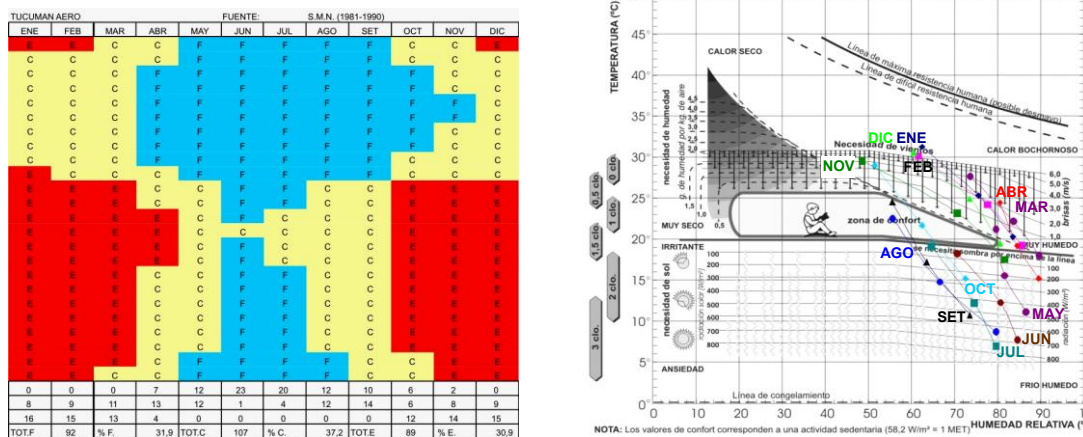
Sin embargo, financieramente, ninguno de los dos factores sirve como indicador primario seguro para evaluar comparativamente varias alternativas, con este fin la tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR%) es el indicador a tener en consideración, siendo el proyecto más rentable el de mayor TIR.

Situación climática y condiciones bioclimáticas de análisis

La zona de estudio, el Gran San Miguel (Tucumán, Argentina), tiene un clima mixto, de veranos cálidos y húmedos con temperatura máxima media superior a los 32°C y humedad relativa media máxima de 85%, con vientos S-SO son de baja velocidad y poca frecuencia. Los inviernos son secos y poco rigurosos, con temperatura media mínima de 6°C y humedad relativa de 65%, con vientos S-SO de baja velocidad y poca frecuencia. Todo el año los cielos se presentan seminublados.

En base a los datos climáticos de la zona se realizó el análisis bioclimático con algunas metodologías, como se muestra en la Figura 3, obteniéndose las estrategias principales: • Verano: a- ventilación natural, b- reducción de ganancia de calor en los componentes constructivos. • Invierno: a- evitar pérdidas de calor a través de la envolvente, b- calefacción solar pasiva.

Figura 3. Gráficos bioclimáticos: Exigencias bioclimáticas (izquierda) y Olgay (derecha)



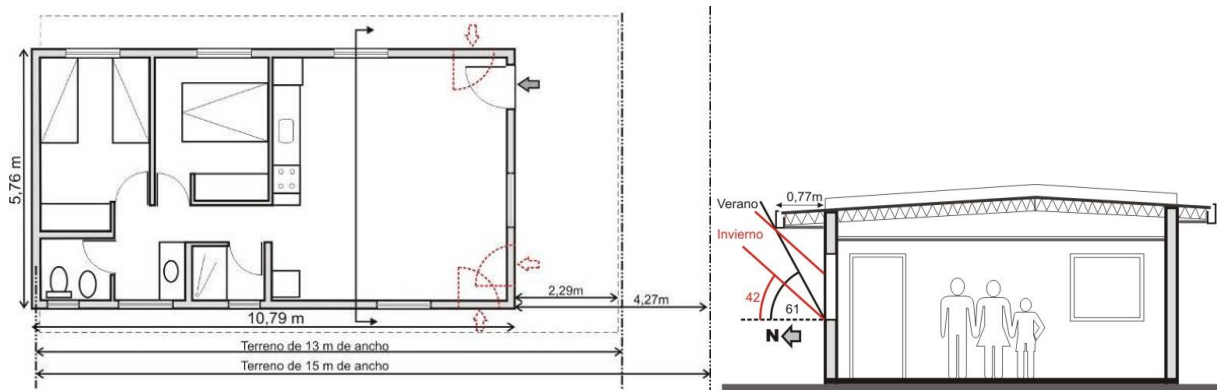
Fuente. Programas de análisis bioclimáticos (Gonzalo, 2003)

Prototipo de análisis y casos de evaluación propuestos

Las viviendas prototipo analizadas tienen una superficie cubierta de 62,04 m² cubiertos, con una galería lateral que varía en medida dependiendo del ancho del terreno, considerándose valores de entre 13 m y 15 m, ya que son los más comunes en los emprendimientos de planes oficiales.

Para centrar los análisis en los materiales de la envolvente exterior, se planteó el diseño de la vivienda y del conjunto, incorporando consideraciones básicas de adaptación climática como: - edificio en un eje E-O para mayor superficie al N y S, aprovechando ganancia solar en invierno y vientos en verano; - protección solar total del cerramiento vertical oeste donde se aprovecha la protección solar que brinda la galería propia o de la vivienda contigua, según el lote; - el frente norte protegido por un alero que brinda sombra en verano y permite ingreso de sol en invierno; - diseño funcional que permite mantener los locales principales siempre hacia el N, sin importar la orientación del terreno y su acceso, gracias a la posibilidad de ubicar la entrada en diferentes posiciones. Esto evita el espejado o rotación del diseño, condición muy usada y que lleva a que muchos de los edificios queden en condiciones muy desfavorables. El prototipo se muestra en las Figuras 4 y 5.

Figura 4. Planos de la vivienda: planta y corte (con ángulos solares para junio y diciembre 12 hs)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Posibles disposiciones en conjunto de las viviendas



Fuente: Elaboración propia

Como envolvente exterior base se consideró el tipo más utilizado en la Provincia. Las características generales de la misma son: muros de ladrillo cerámico hueco de 0,18 m con ambas caras revocadas, estructura de hormigón armado oculta y cubierta de chapa con de cámara de aire y cielorraso suspendido con aislación térmica de poliestireno expandido de 2,5 cm.

Teniendo en cuenta que la cubierta es el elemento de la envolvente exterior que mayor carga térmica transmite al interior en época de verano, siendo este el período de mayor exigencia para la zona climática, para el prototipo de análisis se propone utilizar una cubierta con una aislación mejorada, alternativa que ya fue analizada y fundamentada (Martinez, 2013a). La aislación propuesta es de 8 cm de poliestireno expandido, con la cual la cubierta permite lograr un nivel de confort B, según lo establecido por Norma IRAM 11.605.

A continuación se detallan las características de los tipos de cerramientos verticales seleccionados para evaluación. No se consideraron sistemas de muros dobles tradicionales (muro-aislación-muro), ya que los mismos generan conflictos constructivos en su aplicación que no son fáciles de resolver adecuadamente con la mano de obra disponible, y tienen un mayor costo de construcción. Además los mismos restan una superficie interior útil importante en un planteo de medidas ajustadas. Como se muestran en la Tabla 1, se eligieron sistemas de muros simples y muros con aislación y de terminación interior en seco. La masa, que genera inercia térmica, no es un aspecto deseable en la envolvente exterior debido a las condiciones climáticas de verano, debido a la falta de brisas para eliminar el calor acumulado, el período de calma se da en el 33% del período estival, y la alternancia térmica día-noche no es muy significativa, siendo en la mayor parte del período solo de 4 o 5 grados.

Tabla 1. Tabla de tipos de cerramientos analizados. Características

| Denominación Muro | Tipo | | Componentes y espesores (cm) | Espesor total |
|-------------------|--------|-----------|---|---------------|
| | Simple | Compuesto | | |
| A (base) | X | | Revoq. ext. común (2,5)-Ladrillo hueco (18)- Revoq. int. común (2,5) | 0,230 m |
| B | X | | Revoq. ext. común (2,5)-Ladrillo macizo (27)- Revoq. int. común (2,5) | 0,320 m |
| C | X | | Revoq. ext. termoaislante* (4,5)-Lad. hueco (18)- Revoq. int. común (2,5) | 0,250 m |
| D | X | | Revoq. ext. termoaislante* (3,0)-Lad. macizo (27)- Revoq. int. común (2,5) | 0,325 m |
| E | X | | Revoq. ext. termoaislante* (4,5)-Lad. macizo (13)- Revoq. int. común (2,5) | 0,200 m |
| F | | X | Revoq. ext. común (2,5)-Lad. macizo (13)- Lana de vidrio con papel encerado tipo Isover (5)- Placa de yeso interior (1,5) | 0,220 m |
| G | | X | Revoq. ext. común (2,5)-Lad. hueco (18)- Lana de vidrio con papel encerado (5)- Placa de yeso interior (1,5) | 0,270 m |
| H | X | | Revoque.ext. micro hormigón (3,5)-Placa de poliestireno alta densidad (8)- Revoque.int. micro hormigón (3,5)** | 0,15 m |
| I | X | | Revoque fibrado con malla (tipo Parex) (0,15)-Bloque hormigón celular (20)***-Revoque fibrado con malla (0,15) | 0,203 m |

Fuente: Elaboración propia * Isolteco de Estisol ** sistema Cassaforma ***sistema Retak

Resultados de los estudios termo-energéticos de las propuestas

Se determinó el valor de transmitancia térmica de envolvente opaca vertical, mediante el programa CEEMAKMP.xls (Gonzalo, 2003).

Para los valores de propiedades de los materiales tradicionales se adoptan los establecidos por Norma IRAM 11.601, y para los nuevos se obtuvo la información necesaria a través del fabricante (fichas técnicas).

Con el programa RETScreen se calculó la demanda de energía para acondicionamiento artificial. Los datos generales aplicados en el programa RETScreen incluyen:

1- Tipo de proyecto: Medición de eficiencia energética / Residencial / Método 1 / Moneda \$AR.

2- Tipo de combustible: Electricidad.

3- Costo del combustible: Se determina el precio base del kWh según análisis de costo de facturación para consumos en la provincia de Tucumán, en dos situaciones: costo de energía con subsidio (\$0,525 kWh) y costo sin subsidio (\$0,955 kWh). Las pérdidas de transporte y distribución se establecen en un 18%, según análisis de datos de la Secretaría de Energía (2013).

4- Temperaturas interiores: calefacción 20°C y refrigeración 23°C, definidas según lo establecido por la Comisión de las Comunidades Europeas, según tipo de vestimenta, para verano e invierno y una actividad física entre sedentaria y ligera (Martínez, 2013b).

5- Tasa de ocupación de 24 horas. Vida útil estimada 50 años. Tasa de inflación, se considera de un 24% (Elysis, 2015).

Los resultados de las evaluaciones termo-energéticas obtenidas se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Tabla de resultados termo-energético de cerramientos analizados.

| Denominación Muro | K W/m ² °C | K máx. Norma IRAM 11.601 W/m ² °C | | | Costo \$/m ² | Demanda de energía para acondicionamiento artificial | | | Consumo global de energía MWh/año |
|-------------------|--------------------------|---|-----------|-----------|----------------------------|--|-----------------------------|-------|--------------------------------------|
| | | A 0,45 | B 1,10 | C 1,80 | | Demanda kWh/m ² | | | |
| | | | | | | Calefacción (112 días) | Refrigeración (253 días) | Anual | |
| A | 1,71 | | | X | 678,13 | 51 | 259 | 311 | 19 |
| B | 1,80 | | | X | 849,05 | 53 | 261 | 314 | 20 |
| C | 1,04 | | X | | 885,71 | 43 | 246 | 289 | 18 |
| D | 1,09 | | X | | 973,69 | 44 | 247 | 291 | 18 |
| E | 1,07 | | X | | 823,86 | 44 | 247 | 290 | 18 |
| F | 0,62 | | X | | 682,40 | 38 | 238 | 276 | 17 |
| G | 0,61 | | X | | 731,33 | 38 | 238 | 276 | 17 |
| H | 0,38 | X | | | 912,82 | 35 | 233 | 268 | 17 |
| I | 0,54 | | X | | 450,05 | 37 | 236 | 273 | 17 |

Cubierta liviana para todos los casos: coeficiente K de 0,37 W/m²°C (nivel B, Norma IRAM)

Fuente: Elaboración propia en base a datos de programas CEEMAKMP y RETScreen

Se puede observar en los resultados que el muro A (tipo base de comparación) y el tipo B, ambos los de uso más común en obra, solo verifican con el nivel de confort C de Norma. Pero aun así no garantizan lograr adecuadas condiciones interiores de confort, y son los dos tipos constructivos que más energía anual consumen para lograr climatización artificial.

Los muros tipo C al G y el I, cumplen con el nivel B de confort. De estas tipologías las F, G e I resultan ser más convenientes dado que presentan un consumo de energía anual menor.

El muro tipo H es el único que cumple con el nivel A de confort, pero sin embargo su consumo de energía anual para climatización es igual al de los muros F, G e I. Esto nos ejemplifica que no necesariamente mayores niveles de aislación térmica logran reducir los consumos de energía en climatización.

El muro tipo H es también el que presenta el mayor costo (912,82 \$/m²), pero genera la menor demanda de energía por superficie construida (268 kWh/m²), aunque ésta es solo de un 15% en

comparación con el muro base (tipo A), y está lejos del estándar básico para viviendas en Estados Unidos (131 kWh/m²) o el estándar Passivhaus alemán (120 kWh/m²).

De este primer análisis se determina la conveniencia general de utilizar tipos de cerramientos con una mayor capacidad aislante. Por ello para desarrollar la etapa de evaluación y comparación económica financiera se descarta el muro tipo B y se trabaja sobre las tipologías restantes.

Evaluación económica de los casos seleccionados

Para los muros seleccionados, D al I, se evalúan y comparan los parámetros financieros de tasa de retorno (TIR) y el período de repago de capital (RPC). Para ambos casos se hace el análisis considerando dos situaciones: a- costo de energía con subsidio (EcS) y b- costo de energía sin subsidio (EsS). Se analizan las dos situaciones teniendo en cuenta que ya se ha procedido a la quita del subsidio en varios sectores consumidores, y teniendo en consideración que hacia el futuro es muy posible que esta medida se extienda.

Se analiza también el flujo de caja acumulado (FCA), el que refleja la relación entre los egresos de dinero, en este caso los mayores costos de inversión, y los ingresos de dinero, en este análisis los ahorros logrados en los costos de climatización. El FCA permite conocer rápidamente la liquidez de una inversión, siendo para los análisis realizados de tipo acumulado, dando como dato el monto de dinero que se obtiene al final del período de vida útil de edificio, luego de amortizada la inversión. En este caso se consideró el valor de la energía con subsidio (0,525 \$/kWh). En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en los análisis de cada tipo de muro.

Tabla 3. Parámetros económico-financieros de comparación de mejoras en relación al caso de base (tipo A)

| Muro Tipo | Coef. K W/m ² °C | Nivel de Norma | Tasa Retorno Interna TIR (%) | | Repago de capital RPC (años) | | Inicio de flujo de caja positivo (años a partir de la construcción) | Valor monetario de flujo de caja acumulado (\$) a los 50 años |
|-----------|-----------------------------|----------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|---|---|
| | | | a (EcS) | b (EsS) | a (EcS) | b (EsS) | | |
| D | 1,09 | B | 22,8 | 25,7 | 12,1 | 9,6 | 29,5 | 85.000 |
| E | 1,07 | B | 26,5 | 30,7 | 9,0 | 6,8 | 31 | 87.000 |
| F | 0,62 | B | 257 | 448 | 0,4 | 0,2 | 26,5 | 144.000 |
| G | 0,61 | B | 42,5 | 58,2 | 3,8 | 2,4 | 28,5 | 150.000 |
| H | 0,38 | A | 28,1 | 33,8 | 8,1 | 5,9 | 30,5 | 175.000 |
| I | 0,54 | B | 35 | 44 | 5,3 | 3,8 | 28 | 160.000 |

Fuente: Elaboración propia en base a datos del programa RETSreen

Considerando los resultados obtenidos y considerando que el TIR es el parámetro de comparación más adecuado entre alternativas de inversión, para los casos analizados se determina que el cerramiento vertical tipo F (muro compuesto ladrillo macizo-lana de vidrio-placa de yeso), resulta la mejor opción de inversión ya que su TIR es el más elevado y su período de recuperación del capital extra es menor a un año, en comparación con el caso de base (muro tipo A: ladrillo hueco, ambas caras revocadas).

Pero al analizar el flujo de caja acumulado vemos que el muro H (tabique de EPS tipo Cassaforma), es el que genera al final del período útil el mayor monto monetario de ganancia. En comparación con el muro tipo F, su período de repago de capital es mayor, de 8 años con energía subsidiada y de 6 con

energía sin subsidio, y si bien su flujo de caja positivo se inicia 4 años después del caso F, al final del período de vida útil del edificio genera un 21,5% más de ganancia.

Conclusiones

El hecho de que las envolventes edilicias se construyan térmicamente más eficientes no solo permite un ahorro en el costo de funcionamiento del edificio, sino que también proporciona ambientes interiores más sanos, con lo que se eleva el rendimiento personal y la eficiencia laboral.

Comparando el comportamiento de los tipos de muros analizados, vemos que no se requiere de una excesiva inversión en aislación térmica para obtener una envolvente con un comportamiento termoenergético adecuado, y que en algunos casos la mayor inversión no se fundamenta necesariamente en el aspecto de la eficiencia energética. Comparando los tipos de muro F y H, podemos ver que el primero cumple con un nivel B de confort, mientras el segundo logra un nivel A, concluyendo en primera instancia que el segundo es energéticamente más eficiente. Sin embargo el consumo de energía global para los dos casos es de 17 MWh/año, y la demanda de energía del muro tipo H (268 kWh/m²) es menos de un 3% inferior que el muro tipo F (276 kWh/m²), es decir que el mayor grado de aislación térmica dado por el muro H no logra un aporte significativo en la reducción del consumo de energía para climatización artificial.

Podemos entonces considerar que la reducción del consumo de energía no es el único aspecto que deberíamos tener en cuenta, existiendo la posibilidad de establecer también como criterios de evaluación para la elección de los materiales de la envolvente algunos parámetros económicos no relacionados directamente con la eficiencia energética, como podrían ser:

buscar el menor período de recupero del mayor capital invertido en la mejora de la eficiencia energética de la envolvente, o

buscar la mayor rentabilidad económica final generada por la mayor eficiencia energética de la envolvente.

El criterio de decisión estará definido por las necesidades o condicionantes que determine o establezca el cliente o usuario, ya que no será lo mismo para una empresa que para una persona individual, tomando en cuenta que los beneficios económicos logrados pueden ser a mediano o largo plazo, y que los mismos no se perciben de forma directa, sino indirectamente.

Edificios con cerramientos exteriores más eficientes desde el punto de vista energético también permiten retrasar algunos problemas de deterioro que afectan a los cerramientos exteriores, exigiendo menores gastos de mantenimiento para los mismos, involucrando también la reducción de otros costos, no relacionados directamente con la obra, como por ejemplo la disminución en la inversión para la compra de artefactos de calefacción y refrigeración, ya que la mayor eficiencia térmica del cerramiento lleva a que se necesiten equipos de acondicionamiento artificial de menor capacidad, un funcionamiento más eficiente y consecuentemente una mayor vida útil.

Referencias

Di Bernardo E. y Perone D. Propuesta para la optimización energética en viviendas de interés social. Taller "Energía, Hábitat y Ambiente", XVII Reunión ASADES. Rosario. Octubre, 1994.

Elypsis (2015). Consultora económico-política <http://elypsisweb.com/> Acceso setiembre 2015.

- Gonzalo Guillermo. (2003). Manual de Arquitectura Bioclimática. 2° edición. ISBN 950-43-9028-5.
- Gonzalo G, Ledesma S, Nota V, Martinez C, Cisterna S, Quiñones G, Márquez G, Tortonese A, Garay A. (2000). Determinación y análisis de los requerimientos energéticos para el acondicionamiento térmico de un prototipo de vivienda ubicada en San Miguel de Tucumán. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 4. ISSN 0329-5184.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2010) Boletín electrónico. <http://www.inti.gob.ar/sabercomo>. Acceso junio 2014.
- Marincic I e Isalgue A. (2000). Respuestas térmicas y su relación con la envolvente del edificio. Memorias ISES Millennium Solar Forum, pp. 13-17. México D.F.
- Martinez Cecilia. (2004). Evaluación cualitativa de condiciones ambientales de viviendas IPV en S. M. de Tucumán. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8. ISSN 0329-5184.
- Martinez Cecilia (2013a). Importancia económico-ambiental de la aislación térmica de la envolvente edilicia en la eficiencia energética en relación a las condiciones del clima. 3º Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables. U.N. de Villa María. ISBN 978-987-1930-11-1.
https://www.researchgate.net/profile/Cecilia_Martinez10/publications
- Martinez Cecilia (2013b). La envolvente edilicia y su adaptación a clima mixto en Argentina. Recomendaciones de diseño en aspectos térmicos. ISBN 978-3-659-06795-2. Editorial Académica Española.
- Picción A., Echeverria C., Girardín M.G. (1998). Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2 N° 1, pp. 03.123 ISSN 0329-5184.
- RETSreen. (2014). <http://www.retscreen.net/es/version4.php>. Acceso 2014.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2008). La huella de carbono del argentino promedio. Acceso octubre 2013.
http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/ile/030608_metodologia_huella_carbono.pdf
- Secretaría Energía (2013). Informes Estadísticos Sector Eléctrico. Secretaría de Energía de la Nación. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3952>. Acceso 2013-2015.

CV Autor

Arquitecta y Magíster. Investigador cat. III. Docente FAU-UNT desde 1995. Codirectora Proyecto SCAYT-UNT. Vicedirectora de Especialización Energía, Hábitat y Arq. Sustentable. Profesora del Programa de Formación de profesores de escuelas técnicas (Ministerio de Educación de la Nación). Autora: "La envolvente edilicia y su adaptación a clima mixto en Argentina". Autora y coautora de trabajos y artículos en Congresos y Revistas Nacionales e Internacionales. Consejera por el Inst. de Acond. Ambiental, Consejo de Graduados FAU, 2009-13. Actualmente Consejera suplente.

Reflexiones sobre el nivel de eficiencia energética de los edificios en Argentina y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero

Jorge Daniel Czajkowski¹

Resumen

Uno de los aspectos de mayor relevancia en la actualidad es el cambio climático y la relación con las emisiones de gases de efecto invernadero. Diversos autores e instituciones tratan a nivel global y por países cual es la participación de los edificios, en cuanto a su construcción y mantenimiento, respecto al % en las emisiones globales. En la mayoría de los casos a partir de datos globales que proveen empresas y gobiernos de cada país. En este caso los datos surgen del que oferta un servicio energético. No es usual tener la visión, desde la demanda, a partir de trabajo de campo y auditorías en edificios. En el trabajo se exponen resultados de auditorías tendientes a trazar un perfil del nivel de eficiencia energética y emisiones GEI de edificios y viviendas en Argentina. Se debate acerca de las acciones que se han emprendido para gestionar la mitigación del impacto del sector construcciones en las emisiones GEI y el cambio climático.

Palabras clave: Eficiencia energética, edificios, gases de efecto invernadero, uso racional de energía.

Reflections on the level of energy efficiency of buildings in Argentina and its relation to emissions of greenhouse gases.

Abstract

One of the most important aspects of today is climate change and for emissions of greenhouse gases. Many authors and institutions treat globally and countries for the participation of the buildings , in terms of construction and maintenance, as a percent in global emissions. In most cases from global data that provide businesses and governments in each country. In this case the data come from that offer an energy service. It is unusual to have the vision, since demand from fieldwork and audits in buildings. In the work results of audits aimed at profiling the level of energy efficiency and GHG emissions of buildings and houses in Argentina are exposed. There is debate about the actions that have been undertaken to manage construction impact mitigation GHG emissions sector and climate change.

¹ Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Calle 47 n° 162. Teléfono 4236587 interno 255. layhs@fau.unlp.edu.ar UNLP-CONICET.

Keywords: energy efficiency, buildings, energy use, climate change.

Introducción

El trabajo fue desarrollado en el LAYHS - FAU - UNLP y se enmarca dentro de una de las líneas de investigación principales que se desarrollan en el laboratorio, orientada hacia la evaluación y certificación de la eficiencia energética edilicia. Esto en el marco de los proyectos: UNLP 11/U141 - "*Certificación de edificios sustentables para la adaptación y mitigación del cambio climático*" y PIP CONICET "*Protocolo de construcción de edificios e indicadores de sustentabilidad para la construcción del hábitat*".

El trabajo busca hacer una reflexión sobre problemas actuales que afectan al país, como: la escasez de recursos, emisiones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global. Estos están relacionados con la construcción de edificios y la ciudad, en grado significativo [IPCC, 2001]. Se ha encontrado que la industria de la construcción representa una de las más importantes consumidoras de materias primas y recursos no renovables e implica un sensible impacto ambiental, no sólo durante los procesos de extracción y elaboración de las materias primas, sino también durante la construcción de edificios, su utilización y aún después, cuando el edificio es demolido y reciclado [Edwards, 2008]. En el caso particular de Argentina los combustibles fósiles constituyen la principal fuente de energía empleada para la construcción y mantenimiento del hábitat construido. Implica el 96% de la generación eléctrica mediante centrales de ciclo combinado y en climatización de edificios es intensivo el uso de gas natural [SEN, 2014].

El WEC en su informe 2010 menciona que en la mayoría de las regiones del mundo se detectó una reducción de la intensidad energética en el período 1990 y 2008 que entienden, llevó a grandes ahorros de energía y por ende reducción de emisiones de CO₂. Estiman en 3,6 Gtep en 2008 y 8 Gtep de emisiones de CO₂. Además creen que muchas regiones del mundo tienen un potencial significativo para mayores reducciones en la intensidad energética. En el informe se menciona que a pesar de la implementación de políticas activas en el sector residencial, el ritmo del consumo eléctrico medio por hogar no solo no disminuyó sino que se muestran significativos aumentos. Principalmente en Latinoamérica el aumento de los ingresos del hogar favoreció el consumo de grandes electrodomésticos, como aparatos de refrigeración y lavado. Se sumaron nuevos dispositivos y aparatos, como el aire acondicionado. En muchos casos comercializando equipos menos eficientes. Además y gracias al impacto creciente de los países emergentes con bajos niveles de emisiones de CO₂/cápita, las emisiones mundiales de CO₂/cápita solo exponen un leve incremento de 4,2 ton CO₂/capita (2008) respecto de 3,9 ton (1990) representando una variación del +9%.

El trabajo busca profundizar algunos aspectos relacionados principalmente en la eficiencia energética obtenible producto de la posible implementación de programas específicos de eficiencia energética y la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero. Recordando que la Provincia de Buenos Aires es la única región que posee un instrumento de regulación de la eficiencia energética edilicia mediante la Ley 13059/2003 y su decreto reglamentario 1030/2010. La ciudad de Buenos Aires aprobó en 2012 la Ley 4458 pero sin reglamentar y la Ciudad de Rosario modificó su Código de Edificación. Solo esta última está implementando progresivamente una regulación energética en edificios nuevos o a remodelarse que en 2018 recién será para todo tamaño y función.

Desde el corriente año una nueva gestión nacional a introducido varias innovaciones donde estos temas fueron incluidos en un Ministerio de Energía con rango de subsecretaría de Eficiencia Energética.

Además se produjo un "sinceramiento" tarifario que generó gran intranquilidad social y es esperable que en el correr del año pasen a implementarse programas específicos.

Metodología

El trabajo parte de un método de manejo de datos estadísticos que surgen de Censos nacionales, junto a otros generados por Secretaría de Energía de la Nación, trabajos de autores varios y trabajos de investigación previos. Junto a un método simplificado de cuantificación de emisiones GEI a partir de la matriz energética nacional.

Además se utiliza información producto de trabajo de campo mediante auditorías en viviendas unifamiliares y edificios de departamentos. En la construcción de indicadores, índices y análisis edilicio se utilizaron los programas EnergoCAD y AuditCAD [Czajkowski, 1993, 2003]. Estos, permiten evaluar mes a mes el comportamiento térmico y energético de edificios, mediante el ingreso de los datos auditados al tiempo que determinan indicadores formales basados en Normas nacionales [IRAM 11603, 11605, 11604, 11659]. Se realizaron además evaluaciones de consumos de gas natural y electricidad para calefacción y refrigeración respectivamente.

Respecto a las campañas de monitoreos se realizaron en verano e invierno durante 7 días. Se utilizaron micro-adquiridores de datos HOBO U10-003 para medir la temperatura y humedad de los ambientes interiores. Para toma de datos del ambiente externo se usaron una Estación Meteorológica HOBO ProV2 y una estación meteorológica fija Davis "Vantage Pro2" (temperatura, humedad, radiación solar, vientos). La información se procesó con los programas dedicados "HOBOWarePro" y "BoxCarPro", junto a Excel.

Las características tecnológicas de un edificio junto a las condiciones climáticas del sitio de implantación determinan la cantidad de energía necesaria para acondicionar sus ambientes, sea en el período cálido como en el frío. Para obtener confort, y predecir y prevenir situaciones no deseables, es prudente conocer el posible comportamiento térmico del mismo y los requerimientos de energía [Filippín, 2005].

El sistema de calefacción usual en el país es el denominado "tiro balanceado" y resulta un equipo que consiste en una cámara de combustión estanca que intercambia aire y gases de combustión con el ambiente exterior, mientras que el calor es aportado interior de la vivienda. Estos calefactores tienen la ventaja de no consumir oxígeno ni aportan gases de la combustión al ambiente interior. La eficiencia térmica de calor transferido al ambiente se encuentra entre el 40 % y el 60 % [González y Juanicó, 2008]. Serán la referencia en la determinación de demandas potenciales en calefacción.

Se analizaron las demandas energéticas en el funcionamiento anual de los edificios y las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera. En dos escenarios: a. Para un sistema constructivo tradicional y b. Para una versión mejorada. Además, las pérdidas que se generan a través de las envolventes y los aportes de los factores que conforman carga térmica. Se realizó el análisis de las emisiones de CO₂ proyectadas al ambiente que las viviendas generarían con ambas formas de construir. Para esto se utilizó un procedimiento simplificado desarrollado por el LAYHS [Marsilese & Czajkowski, 2014] que usa el programa de cálculo creado por la US Environmental Protection Agency (EPA) con la matriz energética de Argentina [González, 2010]. Debemos mencionar que los valores que da la calculadora de la EPA denominada *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*, responden a la matriz energética de los EE.UU., donde gran parte de la generación eléctrica es por carbón. En Argentina, la fuente de generación

eléctrica más difundida es la térmica y la hidroeléctrica, que en promedio es aproximadamente es un 50% más limpia. Así debio adaptarse el ingreso de datos indicando un valor referido a: "litros de gasolina consumidos", "kWh de electricidad", "termias de gas natural", etc., luego se obtiene el resultado en dióxido de carbono o CO₂ equivalente. En nuestro caso, los resultados fueron:

$$ECO_2O1 = 0.27 TnCO_2/m^2 \text{ (Eq 1)}$$

$$ECO_2O2 = 0.31 TnCO_2/m^2 \text{ (Eq 2)}$$

Resultados:

Sobre los escenarios tecnológico constructivos:

En el caso de la vivienda tipo de construcción tradicional, las pérdidas a través de la envolvente se distribuyeron de la siguiente manera: Cubierta: 39% (762W/K); Muros: 14% (270W/K); Ventanas: 18% (342W/K); Puertas: 3% (54W/K); Pisos: 4% (86W/K) y Renovaciones de aire (2RA): 22% (426W/K). En el caso mejorado, las pérdidas se distribuyeron de esta manera: Cubierta: 44,1% (381W/K); Muros: 15,6% (195W/°C); Ventanas : 15,2% (132W/K); Puertas : 3,9% (34W/K) y Pisos : 4,7% (41W/K) y Renovaciones de aire (2RA): 16,4% (192W/K).

Para el escenario mejorado se usó el promedio entre nivel A y B de la IRAM 11605 en muros y cubiertas, en ventanas doble vidriado hermético y marcos de prestaciones medias y en pisos Nivel B. Es una hipótesis de aplicar la Ley 13059 ligeramente mejorada a todo el país a una vivienda unifamiliar media ponderada. Implica 0,10m de aislamiento en cubiertas (R= 2.85 m2K/W), 0,05m de aislamiento térmico en muros (R= 1.43m2K/W) y DVH en vidriados (R=0.54 m2K/W).

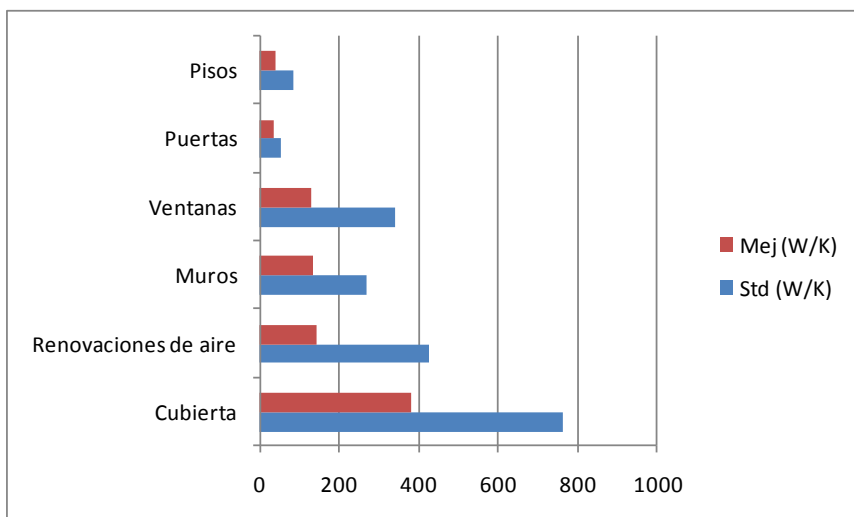


Figura 1: Distribución de pérdidas según balance térmico para vivienda tipo media ponderada caso standard y mejorado. Fuente: Elab. Propia.

La Figura 1 muestra la variación de pérdidas de calor unitarias en relación a las partes de envolvente de una vivienda tipo media ponderada de 53,2 m² para un caso construido de forma standard y otra mejorada cumpliendo normas nacionales.

Tabla 1: Demanda potencial de energía en calefacción para zonas bioclimáticas II a VI

| Grados día (base 18°) | Vivienda Std (kW/año) | Vivienda Mej (kW/año) | Vivienda Std (kW/m2.año) | Vivienda Mej (kW/m2.año) |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 500 | 970 | 432 | 18,2 | 8,1 |
| 1000 | 1940 | 864 | 36,5 | 16,2 |
| 1500 | 2910 | 1296 | 54,7 | 24,4 |
| 2000 | 3880 | 1728 | 72,9 | 32,5 |
| 2500 | 4850 | 2160 | 91,2 | 40,6 |
| 3000 | 5820 | 2592 | 109,4 | 48,7 |
| 3500 | 6790 | 3024 | 127,6 | 56,8 |
| 4000 | 7760 | 3456 | 145,9 | 65,0 |
| 4500 | 8730 | 3888 | 164,1 | 73,1 |
| 5000 | 9700 | 4320 | 182,3 | 81,2 |
| 5500 | 10670 | 4752 | 200,6 | 89,3 |

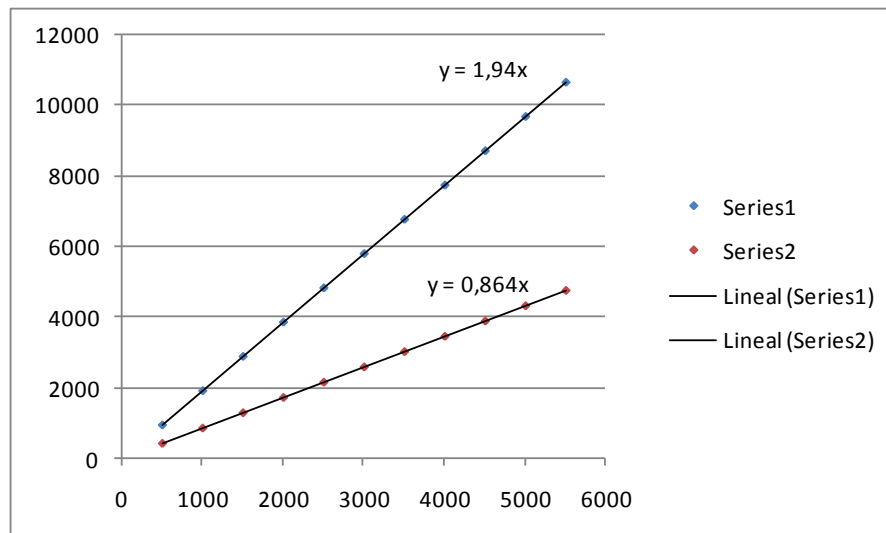


Figura 2: Comparación de cargas térmicas en kW/año (y) para vivienda en función de los grados día de calefacción °D/año (x). Fuente: Elab Propia.

Se determina la demanda potencial de energía en calefacción para las zonas climáticas Argentinas donde la Norma IRAM 11604 considera que se requiere contar con un sistema de calefacción, siendo las zonas II a VI. Estas son templado cálido a muy frío indicado en Tabla 1. En Figura 2 se obtienen las rectas de correlación lineal para los casos de vivienda standard y vivienda mejorada. Donde resulta que puede estimarse la demanda de energía en calefacción a partir de cada escenario. Así:

$$Q_{std} \text{ (kWh/año)} = 1,94 \times \text{Grados Día de Calefacción (base 18°C)} \text{ (Eq 3)}$$

$$Q_{mej} \text{ (kWh/año)} = 0,864 \times \text{Grados Día de Calefacción (base 18°C)} \text{ (Eq 4)}$$

La Figura 3 muestra una comparación de correlaciones lineales entre los grados día de calefacción y la demanda potencial de energía en calefacción en kWh/m2.año para los casos standard y mejorado.

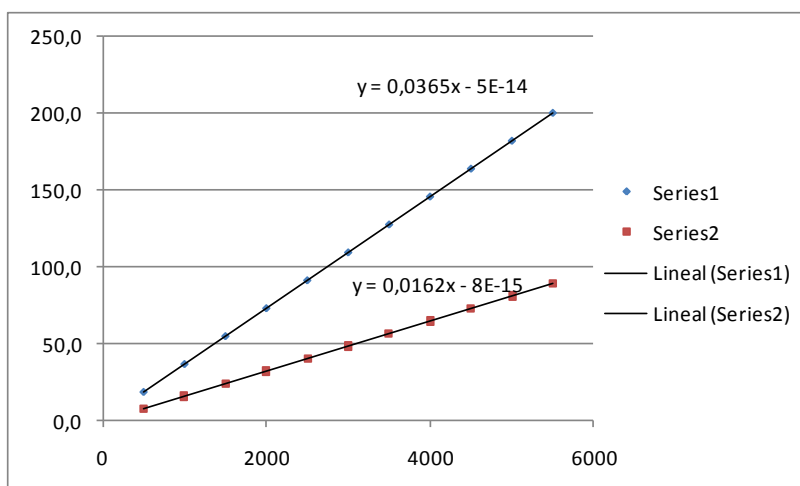


Figura 3: Comparación de cargas térmicas en kW/m².año (y) para vivienda en función de los grados día de calefacción °D/año (x). Fuente: Elab Propia.

Análisis para casos tipo casa y departamento:

La tabla 2 muestra una síntesis de valores medios de coeficiente Gm_{cal} (W/m³K) [IRAM 11604], donde se representan para cada tipo de vivienda, el volumen calefaccionado medio V_m (m³), superficie calefaccionada media S_m (m²), peso porcentual de participación en el tejido urbano en ciudades medias a grandes, el tiempo medio de calefacción según encuestas T_{cal} (hs/día) y el factor de % de calefacción medio de las viviendas. Se agrupan los casos auditados en tres segmentos a los que se denominan como casa compacta, departamento y casa grande.

Tabla 2: Tipos de vivienda y sus características formales y térmicas

| | Gm_{cal} | V_m | S_m | Peso | T_{cal} | FCV |
|---------------|------------|-------|-------|------|-----------|------|
| Casa compacta | 2,98 | 180 | 67 | 60 | 12 | 0,45 |
| Departamento | 2,5 | 100 | 37 | 30 | 12 | 0,7 |
| Casa grande | 2,15 | 350 | 130 | 10 | 24 | 0,7 |

De las auditorías surge que los tres tipos de viviendas tendrán un consumo específico de gas natural de 1,2 m³/°C.día para el tipo Casa compacta, 0,56 m³/°C.día para el tipo Departamento y 2,36 m³/°C.día para el tipo Casa grande. Con los pesos de la tabla 1 se ha determinado el consumo específico de gas natural en calefacción ponderado CC_p según la siguiente expresión:

$$CC \text{ ponderado} = 0,54 \times 0,6 + 0,56 \times 0,3 + 2,36 \times 0,1 = 0,73 \text{ m}^3/\text{°C día (Ec. 5)}$$

Del análisis surge que el valor de 0,73 m³/°C.día, resulta de las características de las viviendas y de realizar un cálculo a partir de valores medios ponderados de la muestra. Se ha encontrado que sea en casas compactas o en departamentos hay un porcentaje significativo que no climatiza la vivienda o lo hace mínimamente. Principalmente en las zonas del país con bajos a nulos subsidios en mayoritariamente en las Zonas bioclimáticas II a IV. En las determinaciones no se ha considerando el efecto del aporte solar medio local sino que se partió de calcular en un 12% para un 30% de días soleados en los meses de invierno. Esto haría reducir un poco este valor. Esto nos lleva luego a poder

comparar casos si los tuviéramos a temperatura de termostato respecto de casos auditados que no alcanzan un confort térmico interior mínimo.

Al comparar el indicador obtenido en este trabajo con el que elabora el Ente Nacional Regulador del Gas vemos diferencias ya que ENARGAS lo estima en $0,56 \text{ m}^3/\text{°C}\cdot\text{día}$. Esto nos muestra varias cosas: a. por una parte el valor medio de ENARGAS es un 30% inferior al obtenido por este trabajo mediante auditorías e implica que se calefacciona menos de lo que se ha encuestado; b. otra posibilidad es que la muestra auditada tiene una tendencia hacia sectores económicos medios a medios altos. Lo cual implica que es significativo el impacto de los sectores de bajos recursos que habitan viviendas de similares características tanto en dimensiones como en sistemas constructivos.

La diferencia principal es que las estadísticas oficiales dicen que se consume menos y esto solo se puede lograr por menor tiempo de calefacción, menor superficie calefaccionada y por ende temperaturas medias interiores muy por debajo de un confort a 18°C . Entre otras posibles hipótesis.

Ya se ha mencionado que en el país existen leyes, decretos reglamentarios y hasta códigos de edificación que exigen el cumplimiento de las Normas que tenderían a regular la calidad térmica edilicia. También se mencionó que en realidad no se cumplen. No lo hace el sector público ni el sector privado.

Sobre lo planteado se presentan tres escenarios distintos para mostrar la demanda media anual por unidad habitacional en el Área Metropolitana de Buenos Aires con acceso a gas natural por red. Esto con el fin de poder comparar una vivienda nacional respecto a otras a nivel internacional.

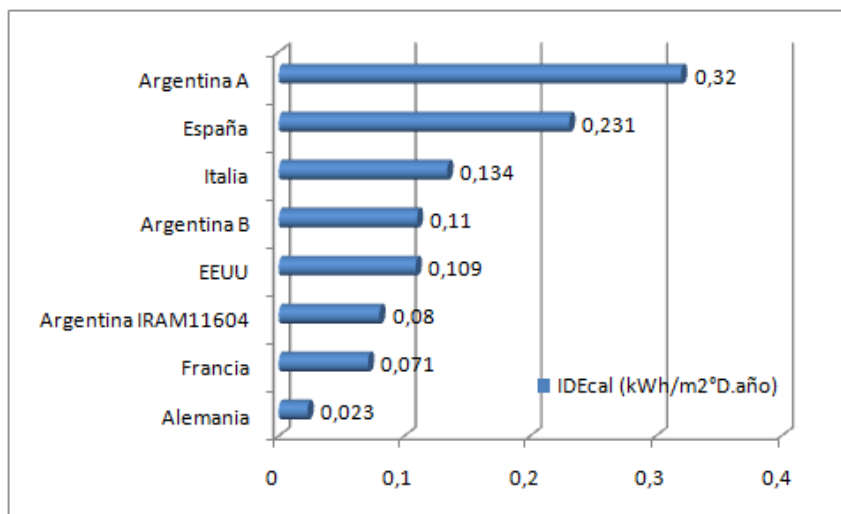


Figura 4: Comparación de la demanda de energía específica en calefacción (IDE_{cal}), en viviendas tipo medias en tres escenarios nacionales de consumo y casos de otros países. Fuente: Elab Propia.

En la Figura 4 puede verse que la vivienda tipo media que representa a las más de 3,62 millones de viviendas del AMBA es un 28% ($0,32 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{D año}$) más ineficiente que una vivienda media española ($0,23 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{D año}$) y un 93% más ineficiente que una vivienda alemana ($0,023 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{D año}$). Siempre tomando la vivienda media construida según los Códigos de Edificación vigentes en la región.

Dado que no se tiene conocimiento de exigencias para regular la calidad térmica de la construcción en el país en viviendas que no correspondan a planes oficiales, podemos asumir a *Argentina a* como un valor medio nacional.

Acerca de las emisiones GEI de CO₂ en viviendas

En cuanto a emisiones GEI y más en particular en lo concerniente a CO₂ podemos utilizar los índices desarrollados por Marcilese expresados en las ecuaciones 1 y 2 para los casos de viviendas tipo standard o mejorada. Estos coeficientes contemplan las emisiones debidas al funcionamiento de la misma en calefacción junto a las emisiones que devienen del ciclo de vida de los materiales con los cuales se construye una vivienda. Otra alternativa es utilizar un indicador energético-ambiental como el desarrollado por Discoli para la matriz energética nacional (Discoli, 1998). En este caso estima que:

$$\text{CO}_2 \text{ [kg/año]} = \text{Energía eléctrica [kWh]} / 11600 \times 3050 \times 4 \text{ [Ec. 6]}$$

Mediante los valores de demanda de energía calculados en Tabla 1 y mediante la siguiente expresión podemos conocer cual serán las emisiones de CO₂/m².año en nuestra vivienda tipo en sus versiones convencional y mejorada.

$$\text{EV-CO}_2 \text{ [tn/m}^2\text{.año]} = \text{Energía eléctrica [kWh/año]} \times 3050 \times 4 / 11600000 / 53,2 \text{ [m}^2\text{]} \text{ [Ec. 6]}$$

La figura 5 muestra la relación entre grados día de calefacción base 18°C y las emisiones potenciales de CO₂ para la vivienda tipo analizada en el trabajo en su condición standard que en Figura 4 denomináramos Argentina A respecto de la misma mejorada. Las expresiones que surgen permiten determinar para cualquier ciudad o zona bioambiental del país las emisiones de CO₂ por metro cuadrado construido.

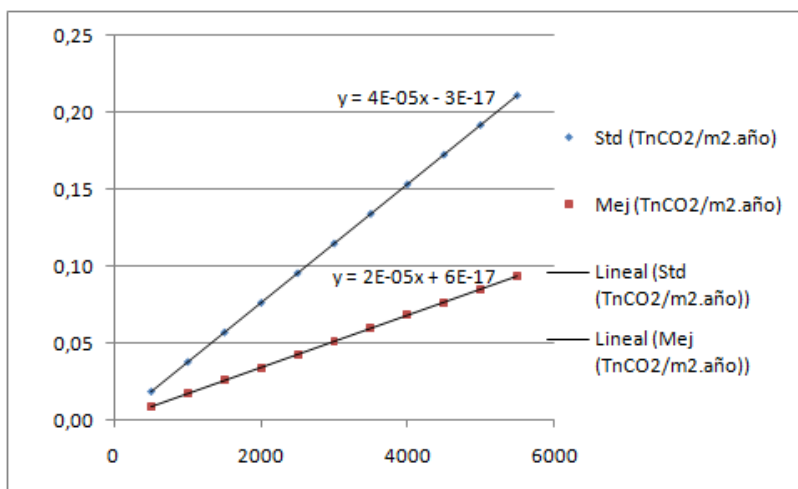


Figura 5: Comparación de las emisiones de CO₂ en TnCO₂/m².año (y) para viviendas en función de los grados día de calefacción °D/año (x). Fuente: Elab Propia.

Conclusión

En el trabajo se ha buscado determinar nuevos indicadores que permitan conocer las demandas potenciales de energía en calefacción y las emisiones que derivan de estas. Es posible continuar a fin de conocer para cada ciudad o provincia con el método elaborado las emisiones GEI aunque excede el artículo. Debatisimos sobre los indicadores energéticos usualmente generados desde los organismos nacionales que solamente apuntan al mercado de la energía sin mayor profundidad. Es necesario que el país pueda contar en tiempo corto (mes, año) valores de oferta y demanda de energía como de emisiones GEI equivalentes. Para hacer eficiencia energética se requiere información y ésta prácticamente no existe. Solo pueden hacerse estimaciones debido a la férrea oposición de las

empresas prestadoras de servicios energéticos de dar información. También debieron realizarse estimaciones de cantidad de viviendas al presente ya que en el Censo Nacional de 2001 se alcanzó un detalle que lamentablemente en 2010 solo sirvió para saber cuántos somos y no a nivel de ciudades y mucho menos por casas o departamentos. Son tantos los inconvenientes en un país sin estadísticas o con estadísticas de baja calidad que solo queda tratar de obtener información estimada o global. Se ha encontrado que en todos los casos las estadísticas son con una visión desde la oferta de energía. En ningún caso son utilizados indicadores desde la demanda, o que permitan inferir el grado de utilización de la energía en edificios en relación a la satisfacción de un cierto grado de confort. Tampoco es posible cuantificar si existe un yacimiento potencial de ahorro y uso racional de la energía y si este ahorro es factible. Los indicadores propuestos en este trabajo y en otros citados buscan mejorar la calidad de información centrado en la demanda. Son indicadores construidos a partir del análisis de casos construidos y funcionando que han sido auditados. Contar con instrumentos de regulación de la eficiencia energética edilicia sean normas, leyes, reglamentos o códigos de edificación no es suficiente si la política del estado sea nacional, provincial o municipal es hacia la desregulación o a la regulación por vía del incremento tarifario. Esta falta de política energética para regular la demanda tiende al quebranto energético y económico, perpetuación de las crisis energéticas, falta de innovación en la construcción, aumento de las emisiones GEI, entre otros; que son una muestra de la falta de desarrollo de un país.

Bibliografía

- Czajkowski, Jorge Daniel; Gómez, Analía Fernanda. (2009). *Herramientas para arquitectos: Arquitectura Sustentable*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Arte Gráfico Editorial Argentino. 2009. Pag.144. ISBN 978-987-07-0603-8
- Czajkowski, J. (1993). Desarrollo del programa AuditCAD para el análisis de edificios a partir de auditorías ambientales. Revista Avances en energías renovables y ambientales N°3. ISSN 0329-5184.
- Czajkowski, Corredera, Saposnik. (2003). Análisis de la relación entre demanda de gas natural en calefacción según "EnergoCAD" y consumos reales en viviendas unifamiliares del Gran La Plata. Revista Avances en energías renovables y ambiente N°7. ISSN 0329-5184.
- Czajkowski, J. (2015) *Energy Efficiency Indicators for Buildings in Argentina*. In book: The Sustainable Renovation of Buildings and Neighbourhoods. ISBN: 978-1-68108-065-9.
- Discoli, Carlos (1998). *El diagnóstico de la gestión productiva energético-ambiental de las redes territoriales del sector salud*. Edit UNLP, La Plata.
- Edwards, Brian. (2008). Guía básica de la sostenibilidad. Gustavo Gili, SL. Barcelona. ISBN 8425222087.
- Filippin, C. (2005) *Thermal Response of Solar and Convencional School Building to Design-and- Human-Driven Factors*. Renewable Energy 30, 353-376.
- González, Alejandro. (2010) *Comparación de energías y gases de efecto invernadero en calentamiento de agua para cocción de alimentos con electricidad y gas natural*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.

- González, Alejandro; Juanicó, L y Gortari, S. (2008) *High-Efficiency Prototypes of Commercial Gas Heaters Extensively Used in Argentina*. Science Direct. International Journal of Hydrogen Energy, 33.
- INDEC (2015). Estimaciones y proyecciones de población 2010-2040. Total del país.
- International Energy Agency. (2015) *Indicadores de Eficiencia Energética. Bases esenciales para el establecimiento de políticas*. [https://www.iea.org/publications/.../EnergyEfficiencyVespagnol_epdf.pdf]
- IPCC. (2001). Tercer informe de evaluación del Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambio Climático. Ginebra, Suiza. ISBN 0 52180770 0.
- Marsilese, Mariela y Czajkowski, Jorge (2014). *Análisis simplificado de la eficiencia energética de una escuela rural en la pampa – Argentina – a lo largo de su ciclo de vida*. Revista Hábitat Sustentable. V3, N1, 3-14 ISSN: 0719 – 0700
- Norma IRAM 11601:2002. *Aislamiento térmico de edificios, métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. IRAM. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11603:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. IRAM. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11605:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. IRAM. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11900:2010. *Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente*. IRAM. Buenos Aires.
- SEN, Secretaría de Energía de la Nación. (2014). Balance Energético Nacional 2013. Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires. [http://www.energia.gov.ar/.../balances_2014/Ben13.xls]
- WEC - Consejo Mundial de Energía. (2010) *Eficiencia Energética: Una Receta para el Éxito – Resumen Ejecutivo*. ISBN: 978 0 946121 00 7

Autores

Jorge Daniel Czajkowski es Arquitecto, Profesor titular de Instalaciones I-II, Director del Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata. Es Investigador Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Mail: jdczajko@gmail.com, czajko@ing.unlp.edu.ar

Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable.
Vol. 1, pp. 01-07, 2016. Impreso en la Argentina. ISBN 000-000-00000-0-0



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Sin Derivar 4.0 Internacional.

Comportamiento higrotérmico y energético en período estival de un edificio escolar típico en la ciudad de San Juan, Argentina

María Guillermina Ré¹, Irene Blasco Lucas², Celina Filippín

Resumen

El objetivo del trabajo es evaluar el comportamiento higrotérmico y energético en época estival de un edificio escolar representativo en la ciudad de San Juan, Argentina. Para ello, se procesan con PROMEDI-HTL las mediciones de irradiancia solar, temperatura y humedad, realizadas cada 15 minutos y en períodos de 15 a 20 días continuos en tres momentos claves de los años 2013-2014, bajo diferentes situaciones de uso. Dichos registros se relacionan con lecturas diarias de consumo eléctrico. Adicionalmente se estudian los niveles de confort en tres aulas mediante el método Fanger, determinando con un software específico los índices PMV (Valor Medio Predicho) y PPD (Porcentaje de Personas en Disconfort). Se analizan estadísticamente series mensuales correspondientes a nueve años de consumo eléctrico y se efectúa el cálculo térmico-energético estacionario aplicando las Normas IRAM mediante el modelo KG-MOD. Los valores empíricos se comparan con los teóricos obtenidos.

Palabras clave: edificio escolar, evaluación energética, confort higrotérmico.

Hygrothermal and energy performance in summer period of a typical school building in the city of San Juan, Argentina

Abstract

The objective of this work is to evaluate summer hygrothermal and energy performance of a representative school building in the city of San Juan, Argentina. To achieve it, solar irradiance, temperature and humidity measurements, made every 15 minutes during periods of 15 to 20 consecutive days in three key moments in the years 2013-2014 under different conditions of use, are processed with PROMEDI-HTL. These records are related to daily readings of electricity consumption. Additionally, comfort levels are studied in three classrooms using Fanger method to determine the PMV index (Predicted value Middle) and PPD (Percentage of Persons in Discomfort) with specific software. Monthly series of nine years of power consumption are analyzed statistically and stationary

^{1 y 2} Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA; FAUD; UNSJ). Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan – Argentina. Tel.:+54(0)264 423 2395 / 3259 Int. 318 – <http://www.irpha.com.ar>

thermal-energy calculation is made applying the IRAM regulations through KG-MOD model. Empirical values are compared with the theoretical obtained.

Keywords: school building, energy evaluation, hygrothermal comfort.

Introducción

El edificio escolar juega un papel importante en el bienestar general de estudiantes y profesores, y en el logro de los objetivos educativos. Un creciente número de investigaciones muestra que la calidad del aire interior, la ventilación, el confort térmico, la iluminación, la acústica, la calidad espacial y constructiva de la edificación y la estética, pueden afectar positiva o negativamente el desempeño de los alumnos y la moral de los docentes (USGBC, 2013).

Becker et al. (2007) de Israel, mencionan que en climas cálidos y templados, las grandes fuentes de calor internas que normalmente se encuentran en los edificios escolares impiden alcanzar el confort térmico sin refrigeración activa en verano, pero no son suficientes para eliminar la necesidad de calefacción en invierno. Afirman también que el uso del aire acondicionado no mejora la calidad del aire, y que la ventilación natural provoca pérdidas de energía no controladas. Constatan además que en las aulas -espacios cuya característica más dominante es su alta densidad de ocupación- se registran una elevada ganancia por fuentes de calor interno (5 kW), altos valores de CO₂, vapor de agua y olores corporales, exponiendo a los jóvenes durante mucho tiempo a una baja calidad del aire en interiores, en el período más importante de sus años de crecimiento.

Estudios experimentales que relacionan el rendimiento escolar en función del confort térmico, demuestran que los alumnos obtienen mejores resultados en aulas acondicionadas térmicamente. Así, Pepler y Warner (1968) comprobaron que la tasa de error fue mayor a los 17°C y más baja a los 27°C, con una diferencia de 20% aproximadamente; sin embargo, el trabajo fue más lento. Las investigaciones de Wargocki y Wyon (2006) indican que a 20°C se logran óptimos resultados de los aprendices para distintas actividades prefijadas, y disminuye un 30% para temperaturas de 27°C a 30°C. Los estudios mencionados, permiten reconocer que existe estrecha relación entre los niveles térmicos interiores y el rendimiento de los alumnos, destacando la importancia de establecer condiciones adecuadas para el desarrollo de un correcto proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por otro lado, el análisis de consumos energéticos en tipologías escolares convencionales a partir de auditorías energéticas (registros de consumos tomados in situ, mediciones higrotérmicas y lumínicas de los espacios interiores) y de datos teóricos surgidos del cálculo de la demanda energética de dichos edificios, es un tema que ha interesado en la últimas décadas a numerosos grupos de investigación en diferentes partes del mundo (Desideri y Proietti, 2002; Dascalaki y Sermpetzoglou, 2011) y también de nuestro país (Gonzalo y Nota, 1999; San Juan, Hoses y González, 2000; Boutet, Hernández, Jacobo, et al., 2011). En La Pampa, se han diseñado y construido edificios para la educación, cuyas pautas de diseño estaban orientadas a lograr una mayor eficiencia energética (Filippín, 2005). El comportamiento térmico-energético de estos edificios escolares fue evaluado mediante monitoreos en distintos períodos del año, detectando diferentes temperaturas de confort según el tipo y localización del establecimiento.

Hasta el presente, no se ha registrado este tipo de información sobre escuelas existentes en la ciudad de San Juan. Por ello, el objetivo de la actual investigación es evaluar el comportamiento higrotérmico y energético durante la crítica temporada estival sanjuanina, de un edificio escolar de tipología en peine construido post-terremoto 1944, seleccionado como caso de estudio; y conocer

las condiciones de confort térmico de aulas específicas, durante los períodos monitoreados con la escuela en situación normal de ocupación.

Metodología

El estudio se basa en el procesamiento y análisis de datos empíricos de los ambientes interiores y datos teóricos calculados en función de las características arquitectónicas y de sus usuarios. La evaluación de la envolvente del edificio en régimen estacionario se efectúa de manera teórica, aplicando los procedimientos de cálculo sugeridos en las Normas IRAM 11601 (2002), 11603 (2012), 11604 (2001), 11605 (1996), 11659-1 (2004) y 11659-2 (2007). Se utiliza el modelo KG-MOD (Blasco Lucas, 2013), que calcula simultáneamente, la Transmitancia Térmica (K) de los distintos componentes de la envolvente, la Carga Térmica de Calefacción anual (Q), el Coeficiente Volumétrico de Refrigeración (GR), la Carga Térmica de Refrigeración (QR), y los correspondientes Factores de Forma FF y FAEP (Esteves et al., 1997). Dichos valores se comparan con los máximos admisibles recomendados para un nivel medio de calidad constructiva (B) por las Normas IRAM: 11604 (2001) para las cargas de calefacción, la 11659-2 (2007) para las cargas de refrigeración, la 11605 (1996) para el K y la 11601 (2002) para las resistencias superficiales.

Las mediciones se realizaron en la época estival, durante tres períodos de 14 a 24 días corridos, con el edificio en distintas situaciones de uso (Tabla 1), que permitan conocer cómo funciona en cada una de ellas. Para el monitoreo se utilizaron data-loggers marca HOBO, con registros de temperatura (°C) y humedad relativa (%) en intervalos de 15 minutos. Los datos climáticos exteriores de temperatura y humedad se obtuvieron con una estación meteorológica marca DAVIS localizada en el Instituto de Energía Eléctrica (IEE) de la UNSJ (Pontoriero y Hoesé, 2013-2014). El procesamiento y el análisis comparativo de datos empíricos de temperatura y humedad recolectados durante las mediciones se lleva a cabo con el PROMEDI-HTL-V3 (Blasco Lucas, 2013). Las gráficas obtenidas permiten conocer el comportamiento higratérmico de los ambientes interiores monitoreados.

Tabla 1. Períodos de medición y estado de ocupación en el edificio.

| Período | Fecha | | Cantidad | | | Actividad escolar | Ocupantes en el edificio | Climatización Mecánica |
|--------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|--------------------------|------------------------|
| | Inicio | Final | Días | Horas | Registros | | | |
| 1 | 01/11/2013 | 15/11/2013 | 14 | 336 | 1344 | Con | Con | Con |
| 2 | 01/01/2014 | 21/01/2014 | 20 | 480 | 1920 | Sin | Sin | Sin |
| 3 | 27/03/2014 | 20/04/2014 | 24 | 576 | 2304 | Con | Con | Sin |
| TOTAL | 01/11/2013 | 20/04/2014 | 58 | 1392 | 5568 | ----- | ----- | ----- |

Fuente: Realizado por las autoras.

Se relevan diariamente los registros de los contadores de electricidad durante los períodos monitoreados y se relaciona el consumo diario con las medias diarias de temperatura exterior y de tres aulas seleccionadas por su diferente ubicación y orientación (4, 5 y 6). Estos últimos datos se obtienen de las mediciones mediante programación de macros. Para realizar el análisis de las series de consumo eléctrico mensual correspondientes a 8 años de consumo eléctrico (2006-2014), se aplican técnicas estadísticas. Con los valores obtenidos se calculan los índices de consumo por unidad

de superficie y se comparan con estándares internacionales y nacionales. Adicionalmente se estudian los niveles de confort en dichas aulas; para el análisis se emplea el programa para el cálculo de situación de confort PMV (Valor Medio Predicho) y PPD (Porcentaje de Personas en Disconfort) de Gonzalo (2003), que fue desarrollado, con ampliaciones y correcciones, según el procedimiento indicado en Santamouris y Asimakopoulos (1996); los índices se basan en los trabajos de Fanger (1982) y se usan en la Norma ISO 7730 (2005) para la evaluación del confort térmico en un ambiente. Se adoptan para los parámetros de cálculo los valores detallados en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos utilizados para el cálculo de los índices PMV y PPD.

| Aula | Datos anatómicos | | | Actividad metabólica (MET) | Nivel de vest. NOV (Clo) | Nivel de vest. ABRIL (Clo) | Velocidad del aire (m/s) | |
|------|------------------|---------------|----------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------|
| | Edad (años) | Peso (Kg) (*) | Talla (cm) (*) | | | | Días laborales | Días no laborales |
| 4 | 9 | 27,5 | 132 | 70 | 0,6 | 0,8 | 0,15 | 0,10 |
| 5 | 10 | 31,5 | 141 | 70 | 0,6 | 0,8 | | |
| 6 | 11 | 33,0 | 155 | 70 | 0,6 | 0,8 | | |

Fuente: Tabla realizada por las autoras. Los valores (*) corresponden a la Organización Mundial de la Salud.

Características del edificio escolar

La Escuela Teniente Pedro Nolasco Fonseca (EF), construida en el año 1953, pertenece históricamente al período de reconstrucción que tuvo la ciudad de San Juan luego del terremoto de 1944, formando parte a nivel nacional, del Plan Quinquenal llevado a cabo en el Gobierno de J. D. Perón. Su tipología edilicia es de “*Lineal en Peine*”, muy característica de esta época y ampliamente utilizada en todo el país para resolver la arquitectura escolar. En la ciudad de San Juan se erigen 12 edificios con la misma. Este periodo histórico fue seleccionado por haber presentado altos índices de construcción de edificios escolares que permitieron elevar la matrícula de alumnos. El edificio está localizado en un medio urbano (Figura 1), inserto en un terreno amplio de 1 hectárea aproximadamente. Su perímetro limita al Este con la Avenida de Circunvalación (una arteria de alta velocidad de la ciudad de San Juan), al Oeste con la Calle Del Bono y hacia el Norte y Sur con un sector residencial de baja densidad.

Figura 1. Vista aérea de implantación urbana.



Tabla 3. Principales parámetros climáticos.

| PARAMETROS CLIMATICOS | UNIDAD | VALOR | | |
|---|--------------------|-------|----------------|--------------|
| | | ANUAL | INVIERNO Julio | VERANO Enero |
| Tº Media | ºC | 18.2 | 8.4 | 27.1 |
| Tº Media Máxima | ºC | 27.1 | 18.1 | 35.2 |
| Tº Media Mínima | ºC | 10.2 | -0.5 | 19.7 |
| Humedad Relativa | % | 43.7 | 48.5 | 43.6 |
| Amplitud Térmica Media | ºC | 17.1 | 18.6 | 15.5 |
| Radiación Media sobre Superficie Horizontal | kWh/m ² | 5.4 | 4.1 | 6.1 |
| Velocidad Media Viento | km/h | 13.3 | 11.0 | 16.3 |

Fuente Figura 1: Google Earth. Fuente Tabla 1: www.tutiempo.net

Características de uso: La Escuela seleccionada es una institución de gestión Estatal que posee Niveles Inicial y Primario; se encuentra abierta de lunes a viernes de 7.30hs a 18hs con actividad de los encargados de la limpieza, y cuenta con dos turnos de clases, el de la mañana comprendido entre las 8hs y las 12hs, y el de la tarde desde las 13.15hs hasta las 17.15hs. La cantidad de alumnos es de 311 para la escuela primaria y de 90 para el Nivel Inicial; el personal docente, directivos y de limpieza asciende a 28 personas.

Clima: La ciudad de San Juan posee un clima árido seco con grandes amplitudes térmicas diarias y estacionarias (Tabla 3); está ubicada en la Región Cuyana al Centro Oeste de la Argentina, a los 31°6' Latitud Sur y 68°5' Longitud Oeste, a 615m-snm. La ciudad pertenece a la Zona bioambiental III (Templada Cálida), Subzona "a", con 896°C (GD-18°C) y 1275°C (GD-20°C), según la clasificación de la Norma IRAM 11603 (2012) para la República Argentina.

Figura 2. Fotografías exteriores e interior de la circulación principal.



Fuente: Fotografías y planos realizados por las autoras.

Figura 3. Planta con indicación de Hobos equipamiento para climatización.



Características Edilicias: La organización funcional del edificio, se caracteriza por contar con una amplia circulación lineal principal, a la cual dan las puertas de la mayoría de las aulas, y se la aprovecha como SUM en ocasiones especiales (Figura 2). En las naves laterales, perpendiculares a la circulación principal, se ubican, en una de ellas servicios (cocina y sanitarios), y en la otra, aulas orientadas hacia el frente. El patio de ceremonia que se genera, es un espacio contenido y de fácil

conexión con el interior. La escuela posee una superficie útil de 857m², con un Volumen de Masa Relativo de 13,8% y una superficie Relativa de Aberturas de 16,5%. En la Tabla 4 se detallan los valores de las distintas variables arquitectónicas.

Características de la tecnología constructiva: El edificio posee estructura sismorresistente, con muros de mampostería portante de ladrillón con traba (34cm de espesor). El techo es inclinado con tirantes de madera y cubierta de tejas. El cielorraso suspendido genera un ático inaccesible. Conserva aún las ventanas y puertas originales, que son de carpintería de madera con vidrio simple.

Equipamiento: El equipamiento para climatización se encuentra indicado en el plano de la escuela (Figura 3), identificados con colores pertinentes. Para calefacción se utilizan estufas a gas tipo pantalla en las aulas, de tiro balanceado en las circulaciones cerradas y solo una estufa eléctrica en la sala de maestros. Cada aula y la dirección cuentan con equipos de aire acondicionado frio-calor y ventiladores de techo.

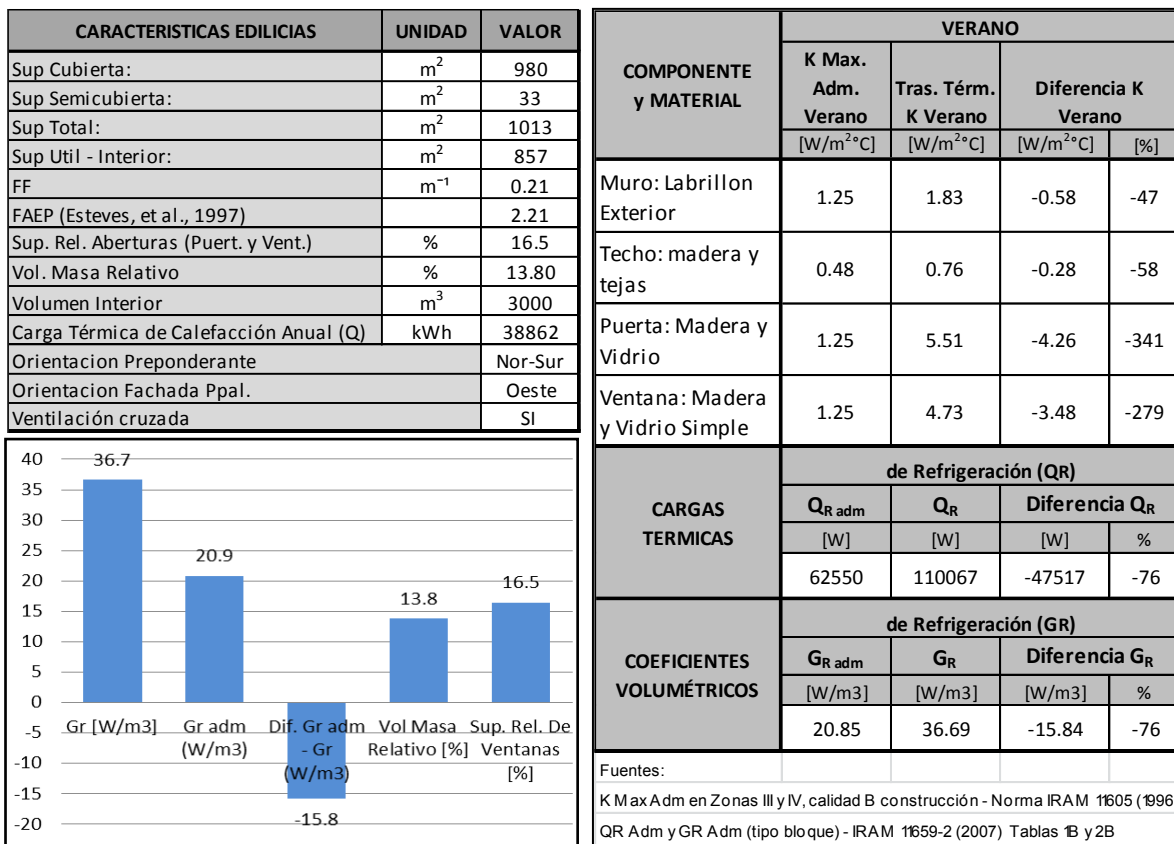
Análisis térmico-energético estacionario

Los resultados del análisis que permite conocer las propiedades térmicas de los componentes de la envolvente, se muestran en las Tablas 4 y 5. En ellas se observa que el K de los mismos sobrepasa entre 47% y 341% los K max adm respectivos.

Tabla 4. Valores de características edilicias.

Tabla 5. Síntesis de los coeficientes K, Q y G.

Figura 4. Comparación del Coeficientes G de refrigeración con valores admisibles y características edilicias.



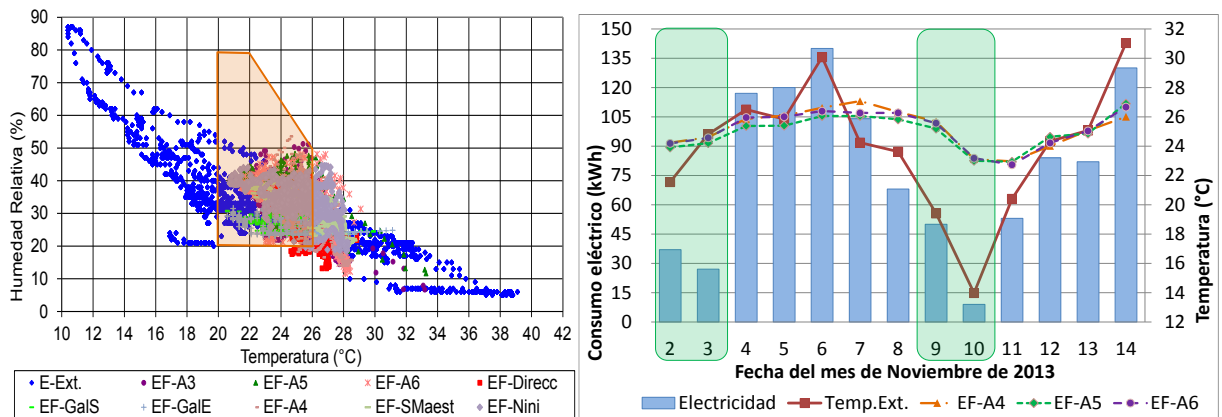
Fuente: Realizados por las autoras.

Para refrigeración, el cálculo de la carga térmica Q_R y el coeficiente volumétrico G_R se llevó a cabo considerando las ganancias internas por el equipamiento, la iluminación, las personas y la radiación solar. Los valores obtenidos indican que el edificio se excede del Q_R adm y del G_R adm con una diferencia negativa del 76% para ambos casos. La Figura 4 muestra gráficamente los datos de refrigeración en combinación con las características edilicias que más afectan el funcionamiento del edificio en verano.

Monitoreo higrotérmico y consumos de energía eléctrica

El monitoreo higrotérmico se realizó conforme lo detallado en la Tabla 1. En los planos de la Figura 3 se indican los espacios monitoreados, la ubicación de los sensores y el equipamiento para calefacción y refrescamiento que cuenta la escuela. El código de identificación de cada local monitoreado contiene la abreviatura del nombre de la Escuela (EF) seguido de su función (A3 = Aula 3). En base a expresiones de usuarios investigadas en trabajos previos (Re y Blasco, 2010) se adoptan como umbrales que definen la zona de confort el intervalo comprendido entre 20°C y 26°C para verano. Asimismo, se resaltan los fines de semana con recuadro color verde en las figuras correspondientes a consumo.

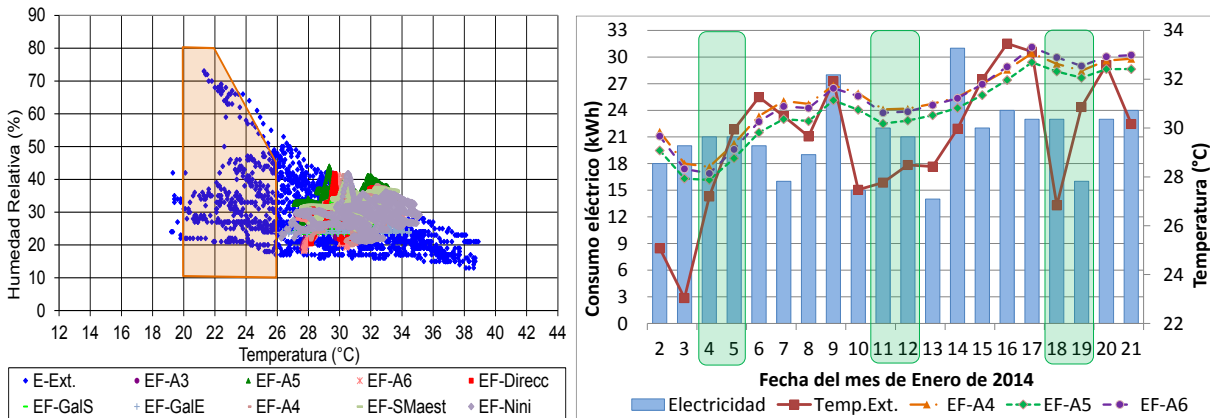
Figura 5. Edificio en condiciones reales de ocupación durante el Período 1. **Izquierda:** Dispersión higrotérmica. **Derecha:** Consumos diarios de energía eléctrica y temperatura exterior e interior en A4, A5 y A6.



Fuente: Gráficos realizados por las autoras.

El análisis del período 1 se exhibe en la Figura 5 Izquierda, donde los espacios monitoreados permanecen en la zona de confort aproximadamente el 60% del tiempo, y en el interior del edificio la temperatura desciende alrededor de 10°C durante los días más calurosos. Esto sucede porque se accionaron los equipos de aire acondicionado y/o ventiladores en las aulas y en la dirección, de acuerdo a las preferencias de los usuarios. Lo cual demuestra la Figura 5 Derecha que relaciona el consumo eléctrico diario y las respectivas temperaturas medias exterior y de las aulas principales. En ellas se supera hasta 1°C el umbral superior de bienestar higrotérmico durante los 4 días más calurosos, pero se mantienen valores inferiores los restantes 10 días, fines de semana inclusive (sin climatización), demostrando que el edificio posee una significativa inercia térmica. Los espacios ubicados al Oeste tuvieron menores temperaturas máximas: EF-A4 (28,4°C), EF-SMaest (28,6°C) y EF-Nini (28,2°C). Son ambientes con escasa ganancia solar directa que tiene lugar al finalizar la jornada escolar, durante unas pocas horas de la tarde, cuando recibe la sombra de la espesa arboleda situada en el frente de la escuela. Los ambientes ubicados hacia el Norte, que presentaron más bajas temperaturas máximas fueron EF-Direcc (28,8°C) y EF-A6 (29,1°C).

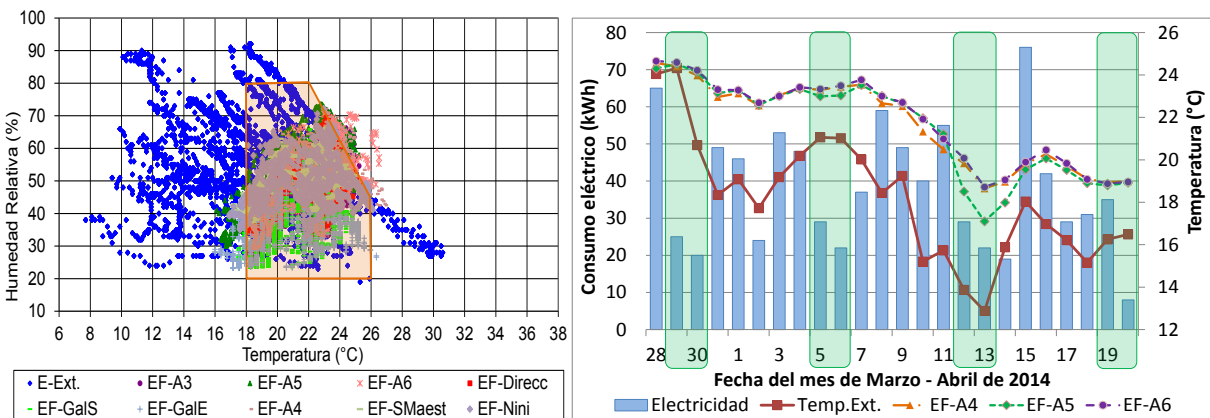
Figura 6. Edificio en condiciones reales de ocupación durante el Período 2. **Izquierda:** Dispersión higrotérmica. **Derecha:** Consumos diarios de energía eléctrica y temperatura exterior e interior en A4, A5 y A6.



Fuente: Gráficos realizados por las autoras.

Durante el período 2 (Figura 6) las únicas actividades fueron las propias de maestría efectuadas en horario de 8hs a 12hs. La temperatura exterior promedio del intervalo monitoreado alcanzó 29,4°C con máxima de 38,9°C, y todos los ambientes estuvieron fuera de la zona de confort la mayor parte del tiempo. EF-Nini (Nivel Inicial) y EF-A6 registraron las mayores temperaturas máximas, con 35,1°C y 34,1°C respectivamente. Estos dos ambientes se ubican en los extremos de cada ala del edificio, razón por la cual tienen mayor superficie de envolvente expuesta al exterior. Las temperaturas medias del resto de los espacios oscilaron alrededor de los 30°C. El consumo diario de energía eléctrica de este período permanece bajo, con escasas variaciones en torno al promedio (21kWh). Corresponde principalmente a la iluminación exterior del edificio que permanece encendida durante la noche e iluminación interior en los momentos de limpieza de cada aula. También el equipamiento de funcionamiento continuo, como la heladera, la bomba de la cisterna y el sistema de alarma.

Figura 7. Edificio en condiciones reales de ocupación durante el Período 3. **Izquierda:** Dispersión higrotérmica. **Derecha:** Consumos diarios de energía eléctrica y temperatura exterior e interior en A4, A5 y A6.



Fuente: Gráficos realizados por las autoras.

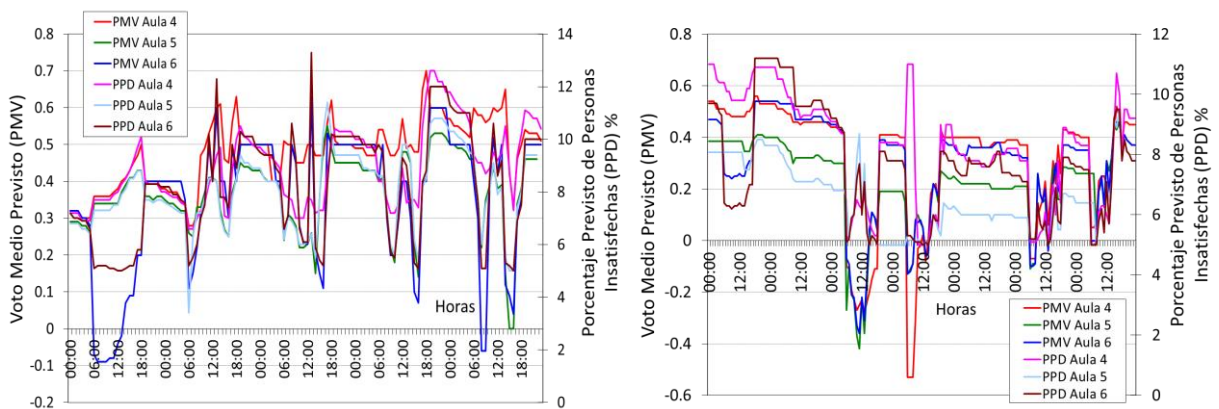
El tercer período monitoreado corresponde a la finalización de la época estival y el inicio del otoño. En este intervalo la temperatura exterior varió entre los 18°C y los 26°C durante los primeros trece días, presentando un significativo descenso los 10 días restantes. A pesar de ello, los ambientes interiores permanecieron todos dentro de la zona de confort (Figura 7), sin la utilización de equipos mecánicos de acondicionamiento. La mayor amplitud térmica del período se registró en la EF-GalE con 10,3°C, seguida de EF-Nini con 9,2°C y de EF-A5 con 9,1°C. Los espacios con mayor equilibrio y

mejor comportamiento higrotérmico fueron EF-Direcc con variaciones entre 25,4°C y 18,1°C, y EF-A3 donde osciló entre 25,2°C y 17,9°C. EF-A4 presentó la mayor temperatura máxima (26,9°C), cuando en el exterior se registraba 29,8°C. El consumo eléctrico diario promedio durante fines de semana y feriado (02/04), cuando la escuela permaneció cerrada, fue de 23,8kWh similar a lo sucedido en enero (Figura 6). Esto se debe a que son los mismos artefactos de iluminación y equipamientos que se mantienen en funcionamiento. El día 28/3 tuvo un alto consumo de electricidad, producto de altas temperaturas, mientras que el día 15/4 se debió a una actividad extracurricular.

Confort térmico en aulas

En noviembre de 2013 los índices fueron calculados para los días más rigurosos (T° máx exterior $\geq 38^{\circ}\text{C}$) de todo el Período 1 (Tabla 1), entre el domingo 3/11 y el jueves 7/11 (Figura 8, Izquierda), con los datos de la Tabla 2. El aula 4, orientada hacia el oeste con su envolvente sombreada por árboles muy densos, muestra que el mayor porcentaje de datos se encontrarían dentro de un ambiente térmico en *Bienestar Térmico* (Gonzalo 2003) con valores de PMV entre +0,5 y -0,5 (entre *Neutral* y *Ligeramente Cálido* y *Ligeramente Fresco* de la Norma ISO 7730). En acuerdo con el índice PMV el PPD presenta valores menores al 10%. Hacia el final del período analizado, con una temperatura promedio interior de 26,8°C, el índice PMV se acerca al valor 1, que corresponde a un *Ambiente Térmicamente Aceptable* según Gonzalo (2003), pero *Ligeramente Cálido* de acuerdo a la Norma. El Aula 5 orientada hacia el norte con un desvío de 10° tiene una oscilación en los índices similar al caso anterior. El día 7 a las 15h el valor de PMV es 0 indicando *Bienestar Térmico*, y neutral para la Norma ISO 7730 (2005), siendo la temperatura y la humedad relativa de 24,0°C y 34%, respectivamente. El Aula 6, orientada al norte pero en el extremo de la crujía con mayor superficie en contacto con el exterior, exhibe oscilaciones bastante más marcadas que en los casos anteriores. Cuando el valor PMV está más próximo a 1, *Ligeramente Cálido* (Norma ISO 7730), el PPD se acerca al 13% con una temperatura de aire interior y humedad relativa a las 13hs de 26°C y 40%, respectivamente. La fluctuación diaria de los índices estaría mostrando que los equipos mecánicos de acondicionamiento térmico se encendieron alrededor de las 8, 11 y 13hs para ingresar a la zona de *Bienestar Térmico*. Sin cargas internas, el comportamiento de los índices en el día domingo es similar en las tres aulas, con pequeña variación en el aula 6 donde el PMV se aproxima a un ambiente *Ligeramente Fresco*, situación que estaría indicando que el equipo de acondicionamiento mecánico quedó encendido. Este día, las curvas diarias, como es de esperar, no presentan oscilaciones.

Figura 8. Índice de PMV e Índice de PPD para las diferentes aulas. **Izquierda:** Del 3 al 7 de noviembre de 2013. **Derecha:** Del 29 de marzo al 4 de abril de 2014.



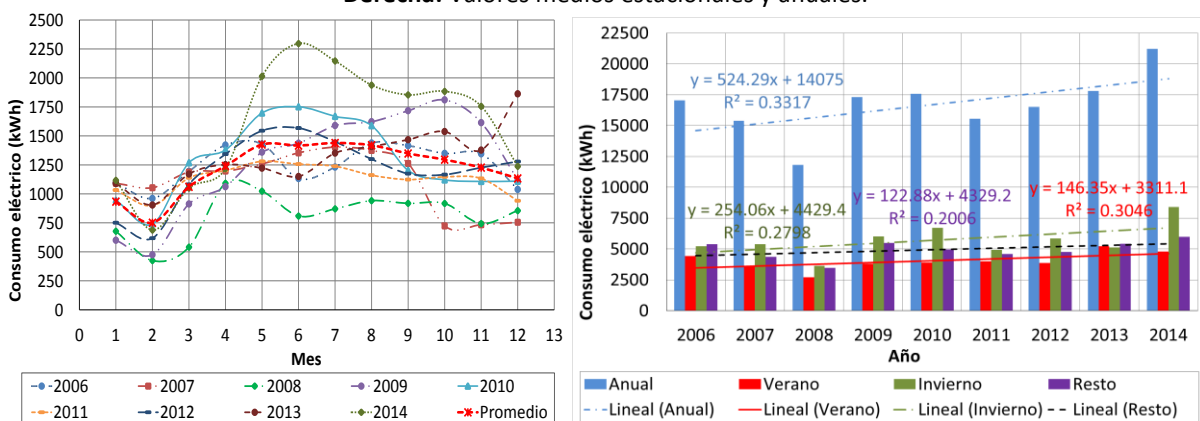
Fuente: Gráficos realizados por las autoras.

En el mes de abril de 2014 se realizan las estimaciones para 7 días, entre el 29/03 (sábado) y el 4/04 (viernes) con la situación del período 3 (Tabla 1) y los datos de la Tabla 2. En la Figura 8 (Derecha) se observa que en las tres aulas durante los días sábado y domingo el PMV oscila entre 0,2 y 0,6, valores que definirían el ambiente térmico como en *Bienestar* y *Térmicamente Aceptable*, respectivamente. Con el inicio de las actividades en el día lunes, tienen lugar las variaciones propias del uso de las áreas funcionales, en las cuales el PMV desciende hasta -0,4 valorado como *Térmicamente Aceptable* (Gonzalo, 2003) y como *Ambiente Ligeramente Fresco* según la Norma ISO 7730 (2005). El día 2 de abril -sin actividad en el edificio- no existen las variaciones en los índices que nuevamente surgen durante jueves y viernes con una valoración de *Bienestar Térmico* (Gonzalo, 2003). El porcentaje previsto de personas insatisfechas es inferior al 10% excepto a las 7, 8 y 9 hs del día 1 de abril con un valor de PPD de 11% (PMV = -0,53).

Consumos energéticos históricos

La Figura 9 muestra datos de consumos históricos de electricidad, desde el año 2006 hasta el 2014, tanto en valores medios mensuales (Izquierda), como anuales y estacionales (Derecha). Se observa que hubo variaciones de consumo importantes durante el período del ciclo lectivo (de marzo a noviembre) y en forma bastante aleatoria entre 540kWh (marzo 2008) y 2297kWh (junio 2014), mientras que los valores promedio oscilaron entre 1060kWh y 1449kWh. Es notorio el crecimiento del consumo en los meses de agosto a noviembre durante los años 2009, 2013 y 2014; como también en los meses mayo a agosto de los años 2010, 2012 y 2014, lo cual indicaría que se utiliza electricidad para la climatización interior incluso en el período invernal. La curva de regresión lineal del consumo anual muestra una tendencia creciente, al igual que las estacionales, entre las cuales la correspondiente a invierno tiene una pendiente levemente mayor que la de verano, mientras que la de menor pendiente es la curva de las temporadas intermedias (otoño y primavera, denominadas aquí "Resto" en forma unificada), y todas presentan un buen nivel de ajuste con un coeficiente R² razonable.

Figura 9. Series de consumos eléctricos 2006-2014. **Izquierda:** Valores medios mensuales. **Derecha:** Valores medios estacionales y anuales.



Fuente: Gráficos realizados por las autoras.

Conclusiones

La evaluación higrotérmica a partir de monitoreos, en tres períodos de época estival y con diferentes situaciones de uso, llevó a concluir que aun cuando el edificio posee gran inercia térmica, los usuarios requieren climatización artificial para alcanzar las condiciones adecuadas de bienestar. El consumo eléctrico asociado a este fin presenta una tendencia creciente a lo largo de los 9 años de registros

históricos analizados. El índice de consumo eléctrico real por unidad de superficie para verano en los años 2013 y 2014, resulta un valor de 5,9kWh/m², mientras que el calculado en base a la Norma IRAM 11659 (2004 y 2007) asciende a 32,1kWh/m², para un total de 250hs de refrigeración y situaciones de confort más exigentes que las preferencias de los usuarios. El valor del consumo real es inferior al índice obtenido con el valor admisible recomendado por la Norma para la misma cantidad de horas (18,2kWh/m²).

A nivel arquitectónico, las galerías (o circulaciones) cerradas se reconocen como elementos que contribuyen positivamente al buen desempeño higrotérmico, ya que éstas permiten mantener los ambientes aislados de las altas temperaturas exteriores en el período cálido. En las temporadas intermedias, suelen mantenerse con las puertas y ventanas abiertas, permitiendo la ventilación natural. Otro elemento que favorece el comportamiento en época estival es la densa arboleda alrededor del edificio, que otorga sombra a las aulas orientadas al Norte y al Oeste.

La evaluación de las condiciones de confort térmico interior permitió conocer que, para noviembre, las áreas funcionales estudiadas, con distinta orientación y distinta exposición con el ambiente exterior y con acondicionamiento térmico mecánico el aire, alcanzaron una temperatura promedio en condiciones reales de uso que osciló, a la mañana, entre 25,4°C y 25,9°C (HR = 34,1% y 36,3%) y para el turno de la tarde fluctuó entre los 25,4°C y 26,2°C (HR = 32,5% y 37,1%). Con el estudio se concluye que para la actividad metabólica y el nivel de vestimenta considerados prácticamente el 90% de los usuarios estuvieron en confort. Para el mes de abril la temperatura media del aire interior desciende y oscila, en el turno mañana, entre los 22,9°C y 23,1°C, con aumento de la humedad relativa promedio entre 52,6% y 53,9%. En el turno tarde, los valores son de 23,5°C y 23,8°C (HR = 52,8% y 54,4%). Bajo estas condiciones y con un nivel de vestimenta más alto propio de la estación climática en estudio el índice PPD también es satisfactorio. El intervalo de temperaturas confortables para época estival a partir de este análisis, acuerda con la zona de confort delimitada en las figuras 4 a 6 de dispersión higrotérmica.

La época cálida, que para la ciudad de San Juan se extiende desde noviembre a marzo inclusive, se reconoce como la estación crítica que requiere principal atención para el acondicionamiento térmico. Queda previsto para futuros trabajos realizar la simulación del edificio y su calibración con datos medidos para analizar y mejorar la materialidad de la envolvente que permita cumplir con las recomendaciones de la normativa.

Nota

La información presentada forma parte del trabajo de Tesis doctoral de la Mag. Arq. María Guillermina Ré, del Doctorado en Arquitectura, FAUD, de la Universidad de Mendoza, desarrollada bajo la dirección de la Dra. Arq. Celina Filippín y la co-dirección de la Dra. Arq. Irene Blasco Lucas.

Referencias bibliográficas

- Becker, Rachel; Goldberger, Itamar; Paciuk, Mónica. (2007). *Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation*. Building & Environment 42, pp. 3261-3276.
- Blasco Lucas, Irene (2013). *Arquitectura sustentable en hábitat rural de zona árido-sísmica: Aportes teórico-metodológicos*. Tesis Doctoral en Arquitectura. Universidad de Mendoza.
- Boutet, M.L.; Hernández, A.L.; Jacobo, G.J.; Martina P.E; Corace, J.J. (2011). *Auditorías higrotérmicas y lumínicas de dos edificios escolares de nivel inicial de la ciudad de resistencia, en condiciones reales de ocupación*. AVERMA, Vol.15, p. 05.29 a 05.36.

- Dascalaki, Elena; Sermpetzoglou, Vasileios (2011) *Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic schools*. Energy and Buildings 43, p. 718 a 727. Elsevier.
- Desideri, U.; Proietti, S. (2002) *Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy*. Energy and Buildings 34, p. 1003 a 1016. Elsevier.
- Esteves, A.; Gelardi, D.; Oliva, A. (1997). *The shape in the bioclimatic architecture: the FAEP factor*. Proceedings of II Conference on Teachers in Architecture, Chapter 3.12.
- Fanger, P.O. (1982) *Thermal comfort*. R.E.Krieger Publishing Company, Malabar, FL.
- Filippín, Celina (2005). *Uso eficiente de la energía en edificios*. Ed. Amerindia. Santa Rosa, La Pampa.
- Gonzalo, Guillermo E. (2003) *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Editorial Nobuko. Programa para el cálculo de situación de confort: PMV y PPD. CEEMA, IAA, FAU, UNT. Noviembre 2002
- Gonzalo, Guillermo E.; Nota, Viviana M. (1999) *Determinación de índices de consumos de energía para distintas funciones edilicias en el área de san miguel de Tucumán*. AVERMA. Vol.3, Art. 08-45
- IRAM (1996, 2001, 2002, 2004, 2007 y 2012). *Serie 11600 de Normas para acondicionamiento térmico de edificios*. Instituto Argentino de Normalización.
- ISO 7730 (2005) *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Third edition. Switzerland.
- Pepler, R.D., Warner, R.E. (1968). *Temperature and learning: an experimental study*. ASHRAE Transactions, 74, p. 211-219.
- Pontoriero, Domingo; Hoesé, Liliana (2013-2014). *Programa de relevamiento de datos meteorológicos de la ciudad de San Juan*. Instituto de Energía Eléctrica, UNSJ.
- Ré, M. Guillermina y Blasco Lucas, Irene (2010). *Comportamiento higrotérmico, lumínico y energético de edificios residenciales ubicados en la ciudad de San Juan*. Revista AVERMA, Vol.14, Art 05-35.
- San Juan G.; Hoses S.; González D. (2000) *Sensibilidad de variables edilicias y energéticas de tipologías edilicias escolares en dos situaciones regionales de nuestro país*. AVERMA. V4. Art 07-29
- Santamouris M. and Asimakopoulos D, Editores (1996) *Passive Cooling of Buildings*. James & James.
- USGBC (2013). *LEED Reference Guide V4*. United States Green Building Council, Washington D. C. (<http://www.usgbc.org/leed/rating-systems/om>).
- Wargoeki, P; Wyon, D.P. (2006). *Research report on effects of HVAC on student performance*. ASHRAE Journal 48: p. 22-28.

Autores

María Guillermina Ré es Arquitecta, Magister, Alumna Doctoral del Doctorado en Arquitectura UM, Jefa de Trabajos Prácticos FAUD-UNSJ, Investigadora Categoría IV. guillerminare@gmail.com

Irene Blasco Lucas es Arquitecta, Magister en Energías Renovables UNIARA, Doctora en Arquitectura UM, Profesora Titular FAUD-UNSJ, Investigadora Categoría I. iblasco@faud.unsj.edu.ar

Celina Filippín es Arquitecta, Magister, Doctora en Ciencias, especialidad Energía Renovables, Investigadora Principal CONICET. cfilippin@cpenet.com.ar

Análisis térmico-energético estival de tipología FONAVI y vivienda bioclimática en la ciudad de San Juan, Argentina

Irene Blasco Lucas¹, Carina Carestia¹, Estela de Lourdes Carossia¹

Resumen

Se evalúa paralelamente el desempeño térmico-energético que presentan dos viviendas durante el crítico período estival de San Juan (clima cálido-seco). Una de ellas es económica de tipo FONAVI (C1), mientras que la otra responde a pautas bioclimáticas (C2). Se llevan a cabo monitoreos sociales y técnicos durante 15 días, a fin de relevar datos sobre: a) hábitos que caracterizan a sus usuarios, b) temperatura, humedad e iluminación a través de registros efectuados cada 10 minutos con dataloggers HOBO tipo U12, c) consumos diarios de gas y electricidad. A través de cálculo estacionario con KG-MOD, se obtienen los valores teóricos respectivos. Los moradores de C1 sufrieron alto discomfort térmico, con medias superiores entre 3°C y 5°C respecto a C2, y amplitudes mayores entre 1,5°C y 4,5°C, teniendo C2 un consumo eléctrico escasamente más elevado que C1.

Palabras clave: Térmico-energético; análisis; estival; FONAVI; bioclimática.

Summer heat-energy analysis of FONAVI typology and bioclimatic dwelling located in the city of San Juan, Argentina

Abstract

The thermal-energy performance of two dwellings during the critical summer period in San Juan (warm-dry climate) is evaluated in parallel. One is an economic FONAVI type (C1), while the other one responds to bioclimatic patterns (C2). Social and technical monitoring was carried out for 15 days in order to relieve data on: a) habits that characterize its users, b) temperature, humidity and lighting through registrations every 10 minutes with dataloggers HOBO U12 type, c) daily consumption of gas and electricity. Through stationary calculation with KG-MOD, the respective theoretical values were obtained. C1 dwellers suffered high thermal discomfort, with higher average temperatures between 3°C and 5°C respect to C2, and also amplitudes varying from 1,5°C to 4,5°C higher than C2, but its electricity consumption was a barely lower than C2.

Keywords: Thermal-energy; analysis; summer; FONAVI; bioclimatic.

¹ Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa-FAUD-UNSJ). Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan, Argentina. Tel.:+54-264-423-2395 Int. 318. E-mails: iblasco@faud.unsj.edu.ar, caricarestia@gmail.com, estelacarossia@yahoo.com.ar

Introducción

El sector residencial está posicionado como el segundo mayor consumidor en el balance energético nacional (BEN, 2014), solo un 5% menor que transporte y casi un 4% mayor que el de industria. Sus particulares características asociadas a los hábitos de las familias, y la gran extensión geográfica en que se dispersa con valores de consumo relativamente pequeños y muy variados, otorgan una complejidad significativa a la problemática energética del mismo. Por otro lado, se ha reconocido la urgente necesidad de lograr una mayor eficiencia energética en este sector (Blasco Lucas, 2008), como también la importante incidencia que tienen en el consumo energético el clima, el diseño arquitectónico y los tipos constructivos de la edificación destinada a viviendas, junto a las costumbres de sus usuarios relativas fundamentalmente al logro de confort higrotérmico (Casado, 2001; Blasco Lucas et al., 2004; Sulaiman et al., 2009; Mesquida y Blasco Lucas, 2010a). De allí el interés por conocer en detalle las distintas situaciones que se presentan en cada región del país a fin de plantear una gama amplia de mejoras adecuadas a realidades locales. El análisis de las condiciones del parque construido en el sector, define el punto de partida para cada una de ellas. En este marco, se han llevado a cabo periódicamente en varias ciudades de Argentina, monitoreos y auditorías energéticas de distinta índole con diversos procedimientos conforme al tipo y cantidad de equipos de medición que se disponían y a los objetivos específicos que pretendían. Así se han realizado análisis tanto a gran y a mediana escala, como también de casos singulares, permitiendo contar con valiosa información. Entre otros, se pueden mencionar a Gonzalo et al. (2000); Filippín et al. (2001); Filippín y Follari (2003); Díaz et al. (2005); Mesquida y Blasco Lucas (2010b).

Objetivo

El objeto de la presente investigación se encuadra en la línea antes descrita, centrándose en la evaluación del desempeño térmico-energético durante el período estival, de dos viviendas singulares localizadas en la ciudad de San Juan, que se ubica en la zona Bioambiental IIIa de Argentina (IRAM 11603, 2012) y cuyo clima se caracteriza por veranos extremadamente cálidos y secos.

Metodología

El trabajo se basa en el estudio de dos casos, consistentes en viviendas unifamiliares de diferentes características de diseño y constructivas. Una de ellas es económica (C1) de tipo FONAVI (Operatoria de financiamiento estatal denominada "Fondo Nacional de Vivienda"), mientras que la otra posee mayor calidad constructiva y espacial, respondiendo a pautas bioclimáticas (C2). Para ello se llevan a cabo monitoreos sociales y técnicos durante 15 días, a fin de relevar datos sobre:

- a) hábitos que caracterizan a sus usuarios, mediante encuestas de opinión y de tipo demográfica, para lo cual se diseñaron planillas específicas.
- b) parámetros higrotérmicos (temperatura y humedad relativa) y lumínicos (Iluminancia) a través de registros efectuados cada 10 minutos con dataloggers HOBO tipo U12.
- c) consumos diarios de gas y electricidad, a través de la lectura de los medidores de las respectivas empresas distribuidoras.

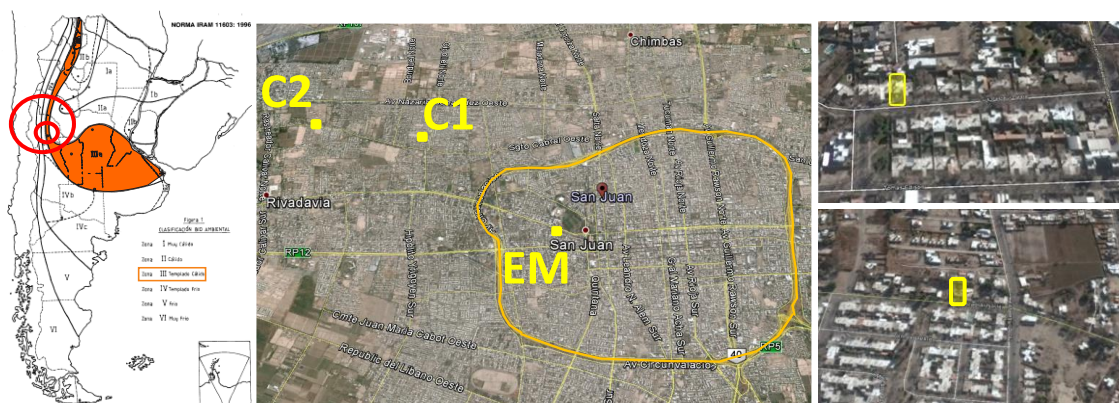
Adicionalmente se realiza un cálculo estacionario con KG-MOD (Modelo para Cálculo de la Transitancia Térmica K y el Coeficiente Volumétrico Global de Pérdidas de Calor G) (Blasco Lucas, 2013), obteniendo los valores teóricos conforme los procedimientos estipulados en las Normas IRAM 11601 (2002), 11603 (2012), 11604 (2001), 11659-1 (2004), 11659-2 (2007), y 11605 (1996).

Para el relevamiento de datos de comportamientos se simplificaron las planillas utilizadas en Sulaiman et al. (2009), pero aun así éstas fueron llenadas solo parcialmente por los habitantes de las viviendas, por lo cual se las complementó con entrevistas personales sobre sus costumbres cotidianas referidas a horarios en que normalmente abrían o cerraban aberturas, encendían equipos de distinto tipo, la cantidad de personas en cada espacio, la indumentaria que usaban, y la sensación de confort que experimentaban. El procesamiento de las mediciones se llevó a cabo con PROMEDI-HTL (Procesamiento de Mediciones Higo-Térmicas y Lumínicas) (Blasco Lucas, 2013), obteniendo figuras de evolución temporal de los parámetros climáticos, de dispersión para interrelación de los mismos, y de barras representando las tablas de síntesis estadísticas con los valores máximos, mínimos, medios y de amplitudes. A partir de esta base de datos se crearon macros para obtener las temperaturas medias diarias del período en el cual se relevaron manualmente los datos de consumo, y se las relacionó con el consumo eléctrico, fluido utilizado para la climatización auxiliar en verano.

Casos de Estudio

Las viviendas seleccionadas se ubican en el área suburbana Noroeste de la ciudad de San Juan (Figura 1). Los datos descriptivos de implantación y de sus habitantes se pueden ver en las Tablas 1 y 2.

Figura 1. Localización de San Juan, de los casos de estudio C1 y C2, y de la estación meteorológica (EM).



Fuente: Norma IRAM 11603 (2012) y Google Earth.

Tabla 1. Datos de implantación de las viviendas

| Concepto | C1 | C2 |
|---------------------------------------|--------------|--------------|
| Latitud | 31° 31' 24" | 31° 30' 58" |
| Longitud | 68° 34' 07" | 68° 35' 09" |
| Altura snm (m) | 671 | 682 |
| Superficie cubierta (m ²) | 69,40 | 95,25 |
| Perímetro vivienda (m) | 37,40 | 45,20 |
| Volumen vivienda (m ³) | 173,50 | 282,00 |
| Area terreno (m ²) | 250,00 | 365,00 |
| Perímetro terreno (m) | 70,00 | 93,00 |
| Retiro frente (m) | 6,15 y 8,70 | 6,00 y 12,31 |
| Profundidad fondo (m) | 8,50 y 11,64 | 18,00 |
| Largo lote (m) | 25,00 | 36,50 |
| Frente lote (m) | 10,00 | 10,00 |
| Vegetación | Escasa | Abundante |

Tabla 2. Datos de los habitantes

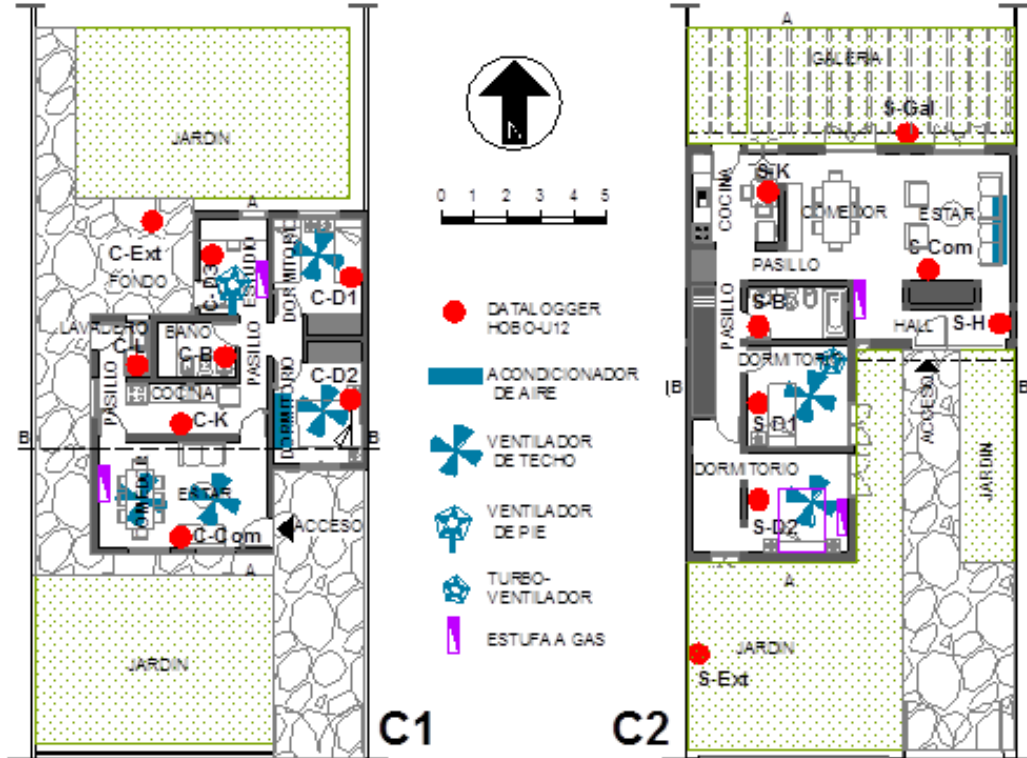
| Habitantes | Vínculo | C1 | | C2 | | |
|-------------------|------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------|
| | | Cantidad | Edad (años) | Cantidad | Edad (años) | |
| Estables | Adulto femenino | Madre | 1 | 41 | 1 | 50 |
| | Adulto masculino | Padre | 1 | 42 | ----- | ----- |
| | Menores varones | Hijos | 2 | 3 | ----- | ----- |
| | | | | 6 | ----- | ----- |
| Adolescente varón | Hijo | ----- | ----- | 1 | 15 | |
| Transitorios | Adulto femenino | Empleada | 1 | 23 | 1 | 56 |
| | Adulto femenino | Abuela | 1 | 60 | 1 | ----- |

Fuente: Tablas elaboradas por I. Blasco Lucas

Tanto el lote como la vivienda de C2 son mayores que C1, respectivamente en un 32% y un 27%, y está habitada por la mitad de usuarios, cuyo promedio de edad alcanza 40 años, mientras que en C1

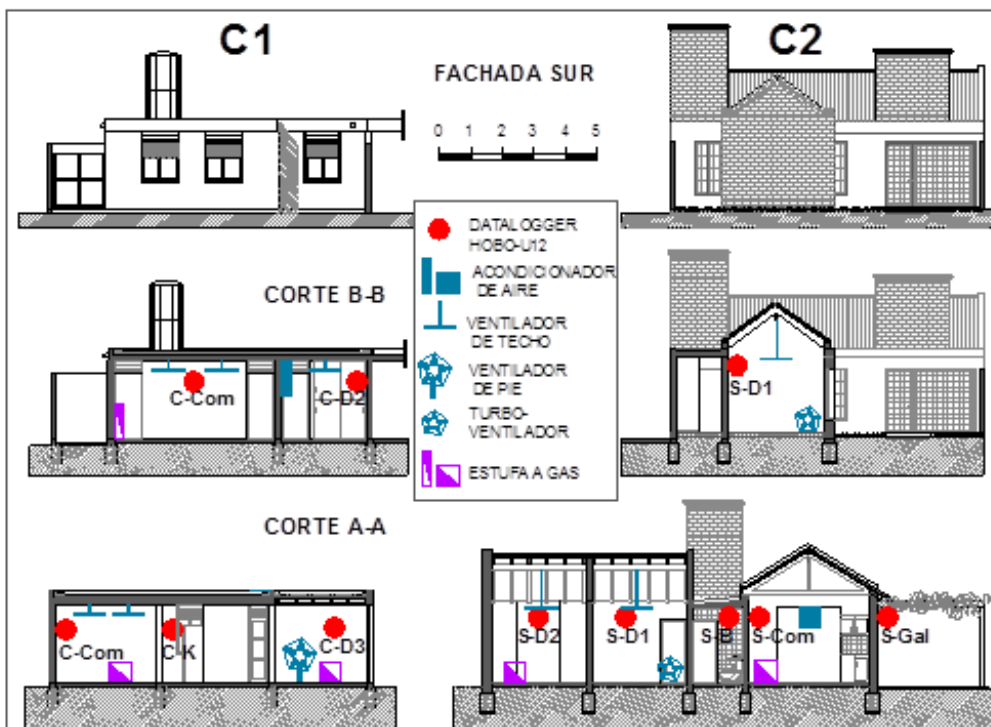
el mismo es de 29 años. Los niños y el joven respectivamente permanecen más tiempo dentro del hogar, atendidos por la empleada durante el día. En ambos casos, los padres generalmente solo están en casa a la noche, durante las comidas y la siesta en días laborales, pero los fines de semana incrementan su estadía en la morada.

Figura 2. Plantas de C1 y C2, indicando ubicación de sensores y equipos para climatización



Fuente: Figuras elaboradas por las autoras

Figura 3. Fachadas y cortes de C1 y C2, indicando ubicación de sensores y equipos para climatización



Fuente: Figuras elaboradas por las autoras

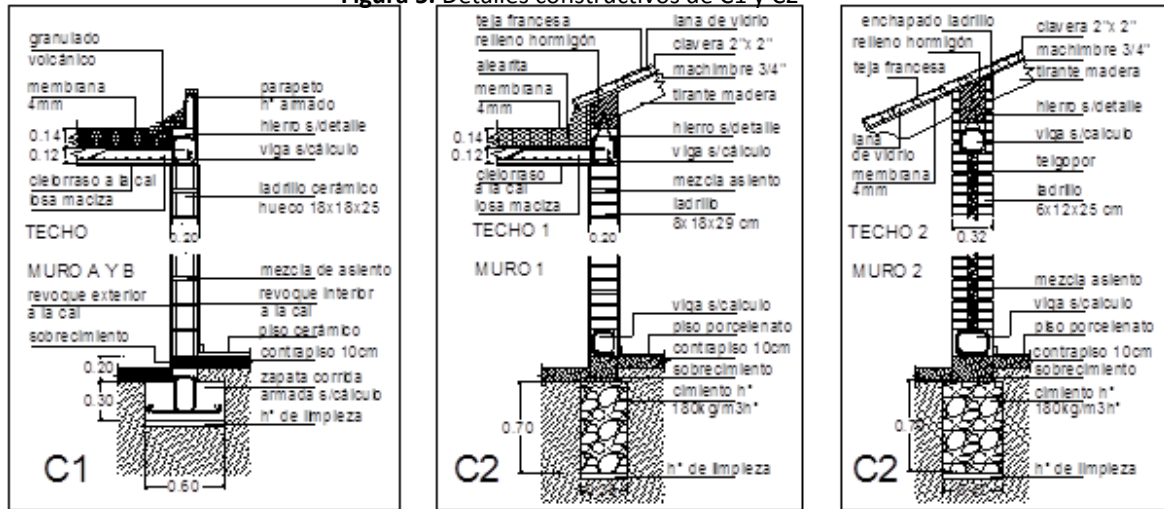
En las Figuras 2 y 3 se exhiben las plantas, fachadas y cortes de C1 y C2, con la ubicación de sensores y equipos para climatización, y en la Figura 4 se muestran fotografías de sus vistas frontales, traseras y del fondo. A su vez, la Figura 5 contiene los detalles constructivos de muros y techos, y la Tabla 3, las características térmicas de los componentes constructivos, comparadas con los valores admisibles para una calidad edilicia media (B).

Figura 4. Vistas frontales (A), traseras (B) y del fondo (C) de C1 (Superior) y C2 (Inferior)



Fuente: Fotos tomadas por I. Blasco Lucas

Figura 5. Detalles constructivos de C1 y C2



Fuente: Figuras elaboradas por las autoras

Tabla 3. Características térmicas de componentes constructivos de C1 y C2

| COMPONENTES C1 | Transmitancia Térmica K | Diferencia K Verano | | Diferencia K Invierno | | COMPONENTES C2 | Transmitancia Térmica K | Diferencia K Verano | | Diferencia K Invierno | |
|----------------|-------------------------|-----------------------|------|-----------------------|------|----------------|-------------------------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| | [W/m ² °C] | [W/m ² °C] | [%] | [W/m ² °C] | [%] | | [W/m ² °C] | [W/m ² °C] | [%] | [W/m ² °C] | [%] |
| Muro A | 2,31 | -1,06 | -84 | -1,31 | -131 | Muro 1 | 2,56 | -1,31 | -105 | -1,56 | -156 |
| Muro B | 1,91 | -0,66 | -53 | -0,91 | -91 | Muro 2 | 0,37 | 0,88 | 71 | 0,63 | 63 |
| Muro C | 5,88 | -4,63 | -371 | -4,88 | -488 | Techo 1 | 0,42 | 0,07 | 15 | 0,41 | 50 |
| Techo | 0,40 | 0,09 | 19 | 0,43 | 52 | Techo 2 | 0,82 | -0,30 | -62 | 0,01 | 1 |
| Piso | 1,84 | -2,00 | -416 | -1,01 | -122 | Piso | 1,40 | -1,26 | -263 | -0,57 | -69 |
| Puerta | 2,29 | -1,04 | -83 | -1,29 | -103 | Puerta | 2,29 | -1,04 | -83 | -1,29 | -129 |
| Vidrio | 5,71 | -4,46 | -357 | -4,71 | -471 | Vidrio | 5,75 | -4,50 | -360 | -4,75 | -475 |
| Cortina PVC | 5,88 | -4,63 | -371 | -4,88 | -488 | Madera | 2,97 | -1,72 | -138 | -1,97 | -197 |
| | | | | | | Chapa | 5,88 | -4,63 | -371 | -4,88 | -488 |

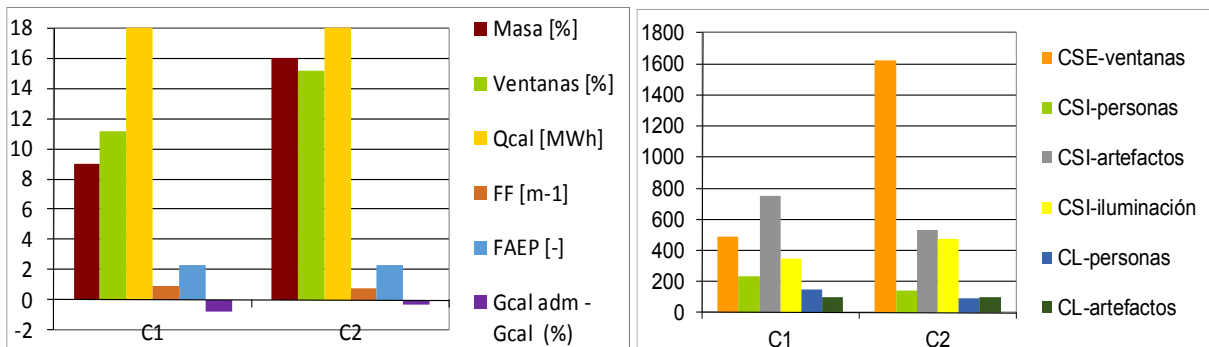
Fuente: Tablas elaboradas por I. Blasco Lucas con KG-MOD

Tanto el Muro 2, como los techos de C2 cumplen los valores admisibles recomendados por la Norma IRAM 11605 (1996) para la zona de implantación, en mayor grado el Techo 1 que el Techo 2, y casi igual que el de C1. El resto de los componentes superan los umbrales de 1 a casi 5 veces.

Cálculos Estacionarios

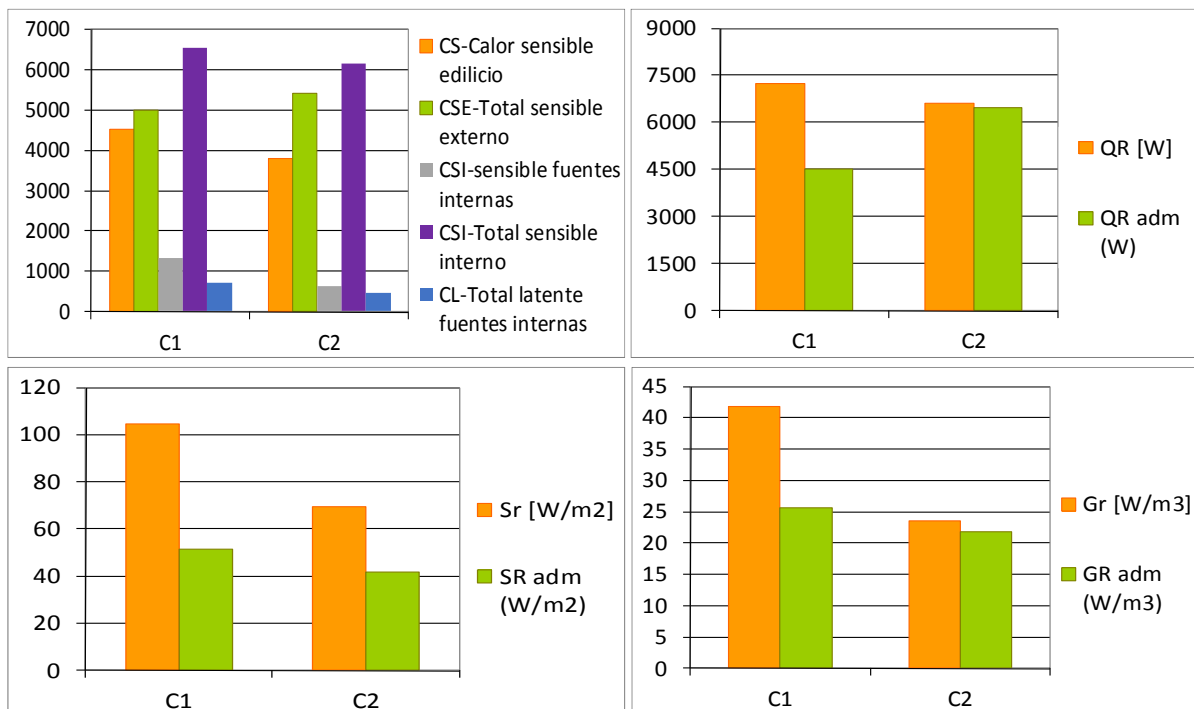
Los resultados obtenidos con KG-MOD en la Figura 6 (Izq.) muestran que ambos casos poseen factores de forma similares, correspondiendo un FF de $0,92\text{m}^{-1}$ a C1 y de $0,79\text{m}^{-1}$ a C2, mientras que el FAEP (Factor de Área Envolvente / Piso) (Esteves et al., 1997) es de 2,29 y 2,33 respectivamente. El volumen relativo de masa térmica de C2 es un 7% mayor que C1, siendo para éste de 9,04%, y la superficie relativa de aventanamientos está un 4% por sobre C1, que tiene un 11,19%. Aún así, la carga térmica de calefacción anual (Q_{cal}) de C2 es solo 1,6 MWh mayor que C1, el cual tiene 18,04 MWh. Estas características determinan que el coeficiente Volumétrico Global se encuentre un 31% por encima del límite estipulado en la Norma IRAM 11604 (2001) para C2 y un 71% más alto para C1, siendo de $2,27\text{W}/\text{m}^3\text{C}$ y $3,40\text{W}/\text{m}^3\text{C}$ respectivamente.

Figura 6. Índices morfológico-energéticos y cargas calculadas de C1 y C2 con KG-MOD



Fuente: Figuras elaboradas por I. Blasco Lucas con KG-MOD

Figura 7. Cargas de calor e índices de refrigeración de C1 y C2 calculadas con KG-MOD

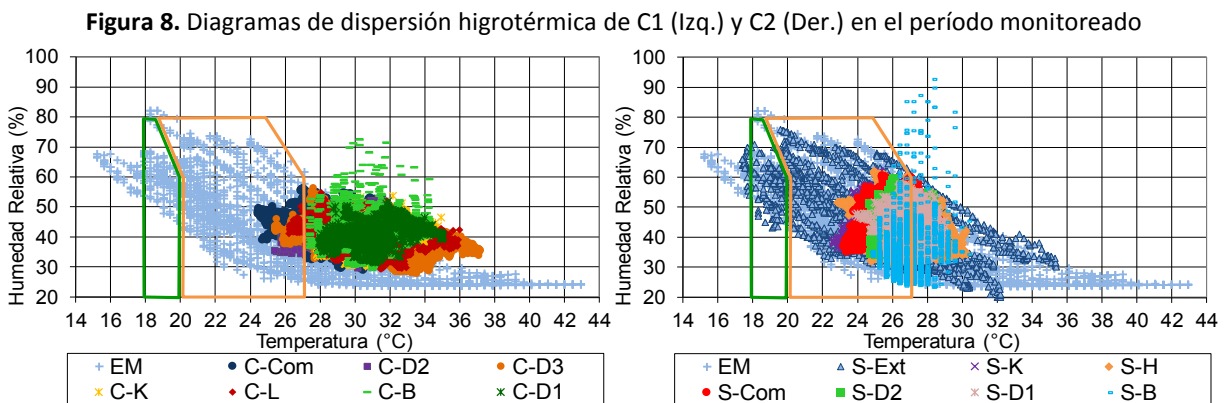


Fuente: Figuras elaboradas por I. Blasco Lucas con KG-MOD

Las Cargas de Calor Sensible (CS) calculadas conforme las Normas IRAM 11659-1 y 2 (2004 y 2007) se muestran en el gráfico derecho de la Figura 6 y el izquierdo de la Figura 7. Las correspondientes a las ventanas (CSE) de C2 son un 70% mayores que en C1, y las de iluminación (CSI) un 27%, mientras que las internas debidas a artefactos es en C1 un 29% mayor que en C2 y las originadas por personas un 40%. A su vez las cargas de calor latente por personas es un 40% menor en C2. El calor sensible externo (envolvente + asoleamiento) es un 8% menor en C1 y el interno de éste es un 6% mayor que C2. Comparando la Carga Térmica de Refrigeración (Q_R) con los valores admisibles (Figura 7, Sup. Der.), resulta que C1 lo supera en un 60%, y C2 solo en un 2%. Las diferencias en el Coeficiente Superficial de Refrigeración (S_r) alcanzan un 104% superior en C1 y un 67% en C2 (Figura 7, Inf. Izq.). Algo similar sucede para C1 con el Coeficiente Volumétrico de Refrigeración (G_r) que es un 63% superior, en cambio para C2 solo un 8% (Figura 7, Inf. Der.). La carga térmica de climatización anual asciende a 31,05MWh para C1 y 30,56MWh para C2, de lo cual resulta un consumo energético teórico de 447 kWh/m²año en C1 y de 321 kWh/m²año en C2, esto implica que C1 presenta un incremento del orden de 39,4% respecto C2.

Mediciones Higrotérmicas y Energéticas

Las lecturas del sensor EM corresponden a los datos exteriores registrados por la Estación Meteorológica del IEE y las de los dataloggers C-Ext y S-Ext, a los respectivos tomados en el fondo de C1 y en el jardín de C2. El período de monitoreo abarcó en forma continua desde el 26 de febrero hasta el 15 de marzo. El diagrama de dispersión higrotérmica de C1 se muestra en la Figura 8 (Izq.). En él se observa que la mayoría de los locales permanecieron casi todo el tiempo en disconfort, oscilando entre temperaturas de 24°C y 37°C, y humedad relativa (HR) entre 30% y 55%. El comedor (C-Com) fue el espacio que alcanzó a estar un 20% dentro de la zona de confort ampliado, entre 24°C y 27°C. El diagrama ubicado a la derecha en la Figura 8 resume los valores de C2, con variaciones de temperatura entre 23°C y 30°C, y HR entre 30% y 60%, teniendo un 70% de los puntos dentro de la zona de confort ampliado, mientras la temperatura exterior varió entre 15°C y 43°C y la HR entre 22% y 85%.

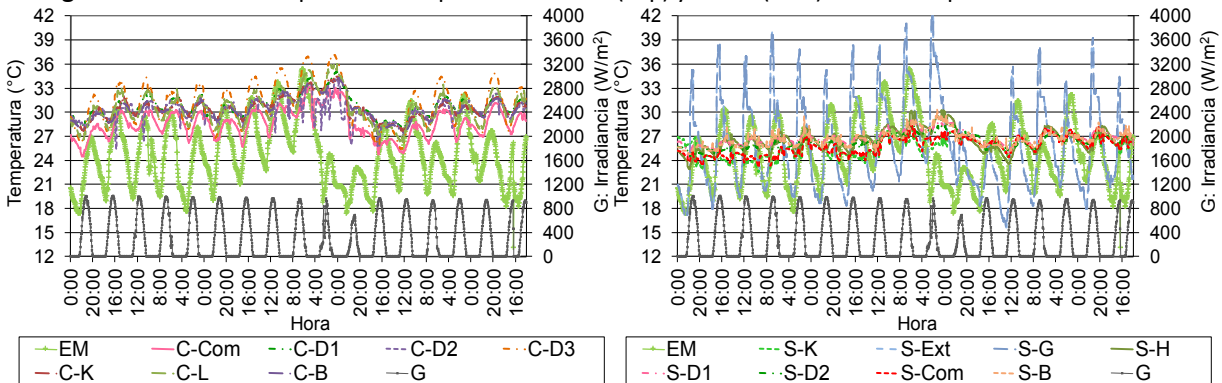


Fuente: Figuras elaboradas por I. Blasco Lucas con KG-MOD

La Figura 9 contiene el gráfico de evolución temporal de temperaturas en C1 (Izq.) y de C2 (Der.). En el interior de C1, se observa una buena amortiguación de la onda térmica exterior, con leve desplazamiento de la misma, lo cual indica un escaso retardo de los componentes constructivos. El local C-D3, con muros expuestos al Oeste y al Norte y ventana en esta orientación, alcanzó las máximas temperaturas y las mayores amplitudes térmicas, mientras que C-Com fue el que se

mantuvo con temperaturas más bajas, favorecido por las aberturas al Sur, la ventilación cruzada y el movimiento de aire producido por los ventiladores de techo. Aún así estuvo solo breves momentos cerca del margen superior dentro de la zona de confort ampliada. En C2, también fue el Estar-Comedor (S-Com) el local más fresco, que se mantuvo casi todo el tiempo dentro de la zona de confort ampliado, con 3°C menos respecto a la amplitud térmica de C-Com. A su vez, las mediciones interiores tuvieron importante amortiguación y retardo respecto a las exteriores, demostrando la alta inercia y el buen aislamiento térmico que sus componentes constructivos poseen.

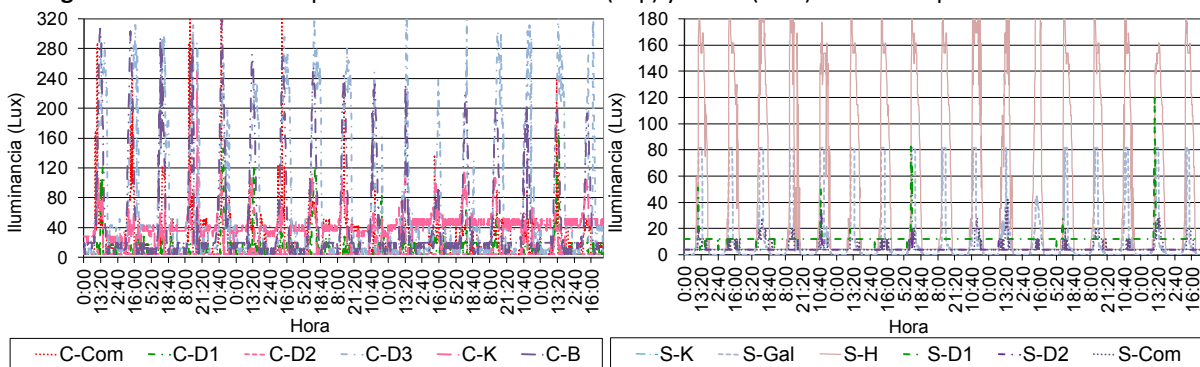
Figura 9. Evolución temporal de temperaturas en C1 (Izq.) y en C2 (Der.) durante el período monitoreado



Fuente: Figuras elaboradas por I. Blasco Lucas con KG-MOD

En la Figura 10 se presentan las gráficas de evolución temporal de Iluminancia en C1 (Izq.) y en C2 (Der.). La máxima de EM alcanzó 100.500 Lux, y el promedio del período fue 27.871 Lux. En C1 superaron los 100 Lux la mayor parte del tiempo C-Com, C-D3, C-L y C-K y el resto de los espacios solo lo hicieron puntualmente. Por su parte, C2 tuvo dentro de la zona de confort visual casi todos los locales, con excepción de S-H. Luego de él y S-Gal, S-D1 tuvo los valores más altos, mientras que S-Com y S-D2 alcanzaron respectivamente 43,3 Lux y 35,5 Lux.

Figura 10. Evolución temporal de Iluminancia en C1 (Izq.) y en C2 (Der.) durante el período monitoreado



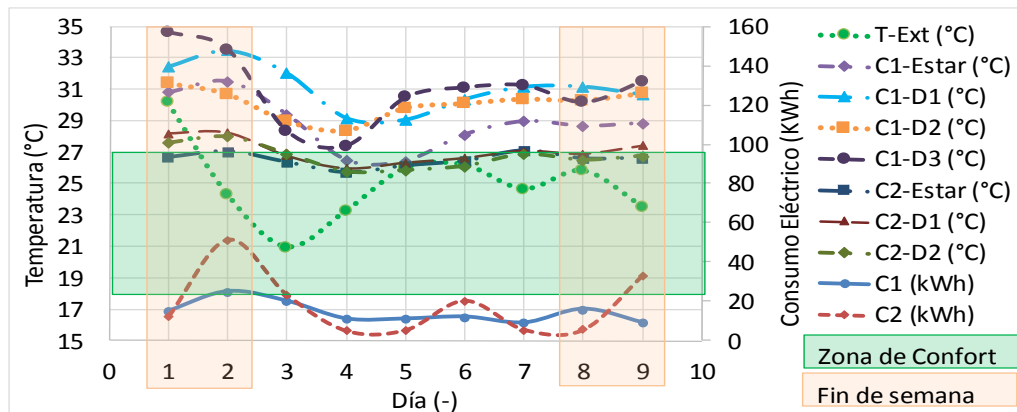
Fuente: Figuras elaboradas por I. Blasco Lucas con KG-MOD

Conforme a los datos relevados mediante la encuesta realizada a los moradores de las viviendas durante la entrevista personal, y las planillas, en C2 usaron ropa muy ligera y utilizaron en forma casi constante el equipo Split del comedor, fijando su termostato a 25°C. Además, hicieron un uso consciente de las aberturas y protecciones solares, para favorecer la ventilación cruzada S-N, y evitar ganancia solar indeseada. Por otra parte, en C1 usaron ropa liviana, haciendo funcionar intermitentemente los equipos para refrigeración, pero principalmente a mediodía y a la siesta.

Se toma como semana tipo la segunda de marzo, abarcando dos fines de semana, para relacionar el consumo eléctrico diario real y las temperaturas medias diarias de locales monitoreados en ambas viviendas, y se representa en la Figura 11.

En ella se observa que el consumo eléctrico acompaña en forma suavizada la curva de la temperatura exterior en C1, mientras que las temperaturas interiores alcanzan amplitudes similares a la misma, encontrándose la mayoría totalmente fuera de la zona de confort ampliado. En cambio, en C2 la curva de consumo sigue la de temperatura exterior, permaneciendo las temperaturas interiores con escasa amplitud térmica alrededor del extremo superior de la zona de confort ampliado. El consumo medio diario de este período fue de 14,2kWh en C1 y de 18,1kWh en C2, sin embargo, durante los días laborables (lunes a viernes) prácticamente se igualaron en 12kWh, siendo solo un 0,5kWh superior en C2. Durante los fines de semana en ambos casos los moradores se quedaron más tiempo en la vivienda, pero en C1 salieron algunas horas de paseo familiar, resultando una mayor permanencia de los usuarios en C2. Esto se reflejó en los consumos, pues la media de C1 en días no laborables fue de 16,3kWh y en C2 25,7kWh.

Figura 11. Relación temporal de temperaturas y consumos en C1 y C2 en una semana estival.



Fuente: Figura elaborada por I. Blasco Lucas con MS-Excel

Conclusiones

El Caso C1 responde a las exigencias del programa FONAVI para préstamo individual del IPV, cumpliendo con las dimensiones mínimas de los locales y la economía de construcción inicial. Posee una pequeña ampliación (donde se ubica el sensor C-D3) realizada posteriormente por sus propietarios, que incluso es menor a la prevista en el diseño inicial. Las principales características bioclimáticas de C2 son la disposición conveniente de los locales, el uso de orientaciones correctas de las aberturas, el dimensionamiento adecuado de las mismas y de los espacios, la apropiada selección de los materiales de la envolvente, el uso de pérgola como galería y el cuidadoso tratamiento con vegetación del entorno cercano para crear microclima. Siendo C1 un 27% menor de superficie y un 39% menor de volumen que C2, alberga a una familia de 4 miembros, y C2 a una compuesta de 2, contando ambos casos con una empleada en horas diurnas y la visita esporádica de las abuelas. Sin embargo, el consumo energético teórico por unidad de superficie de C1 es 39,4% mayor que C2, superando en 273% el estándar medio internacional de bajo consumo para uso residencial (120kWh/m²) según Sartori y Hestnes (2006), mientras que C2 lo hace en un 167,4%. Considerando las condiciones antes enunciadas, los datos empíricos relevados por monitoreo corroboraron el comportamiento térmico-energético teórico calculado para cada caso. Los moradores de C1 sufrieron alto desconfort térmico y lumínico, con medias superiores entre 3°C y 5°C respecto a C2, y

amplitudes mayores entre 1,5°C y 4,5°C, teniendo C2 un consumo eléctrico escasamente más elevado que C1. Esto indica por un lado, que las diferencias bioclimáticas de C2 contribuyen a lograr a la vez bienestar higrotérmico-visual y ahorro energético, y por otro, que en C1 debido al mayor número de habitantes y al hecho que 2 son niños pequeños, se utilizaron más tiempo electrodomésticos no destinados a climatización (lavarropas, plancha, luminarias, TV, etc.). En el aspecto metodológico, se comprobó que las planillas elaboradas en otras investigaciones (Sulaiman et al., 2009), aún simplificadas resultaron inviables para ser llenadas por los habitantes con fines de relevar comportamientos y preferencias, debido al extremo nivel de detalles pretendidos.

Bibliografía

- BEN (2014). *Balance Energético Nacional Provisorio 2014*. Secretaría de Energía de la Nación. Ministerio de Economía. <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>
- Blasco Lucas, Irene; Rosés, Rodolfo; Hidalgo, Elena; Gómez, Walter (2004). *Niveles de satisfacción y consumo energético en viviendas FONAVI*. Actas Digitales del II Simposio de la Vivienda en la Sociedad de Hoy, Tr. 74. Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional. Mendoza.
- Blasco Lucas, Irene (2013). *Arquitectura Sustentable en Hábitat Rural de Zona Árido-Sísmica: Aportes Teórico-Metodológicos*. Tesis Doctoral en Arquitectura. Universidad de Mendoza.
- Díaz, Carlos; Corredera, Carlos y Czajkowski, Jorge (2005). *Resultados de Mediciones de Confort Higrotérmico en Viviendas de Interés Social en Tierra del Fuego*. Campaña de Verano. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 9, 05.79-05.84.
- Estevez, Alfredo; Gelardi, Daniel; Oliva, Alejandro (1997). *The shape in the bioclimatic architecture: the FAEP factor*. Proceedings of II Conference on Teachers in Architecture, Chapter 3.12.
- Filippín, Celina y Follari, Jorge (2003). *Comportamiento térmico de un proyecto demostrativo bioclimático en San Luis*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 13, 5.69-5.76.
- IRAM (1996, 2001, 2002, 2004, 2007 y 2012). *Serie 11600 de Normas para acondicionamiento térmico de edificios*. Instituto Argentino de Normalización.
- Mesquida, Sabrina y Blasco Lucas, Irene (2010a). *Análisis Socio-Técnico del Comportamiento Higrotérmico-Lumínico en dos Casos de Estudio de Viviendas*. Energías Renovables y Medio Ambiente 25, 39-46.
- Mesquida, Sabrina y Blasco Lucas, Irene (2010b). *Eficiencia Energética: Análisis Comparativo entre dos Viviendas Convencionales*. Energías Renovables y Medio Ambiente 25, 73-80.
- Sartori, I.; Hestnes, A.G (2006). *Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article*. Energy and Buildings 39, 249-257. Elsevier Journal. Home page: www.elsevier.com/locate/enbuild
- Sulaiman, Halimi; Blasco Lucas, Irene; Filippín, Celina (2009). *Incidencia del usuario en el comportamiento higrotérmico estival de una vivienda convencional en San Juan*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 13, 05.53-05.60.

Rendimiento térmico de cubiertas verdes sobre techo de chapa en la Ciudad de Córdoba – Argentina

Beatriz Giobellina¹, Arturo Maristany², Silvina Angiolini², Susana Medina¹, Sara Pomazán¹, Yuliana Celiz¹, Felipe Marquez¹

Resumen

La cubierta es una de las envolventes más expuestas, asumiendo un rol protagónico en el intercambio energético. Las cubiertas verdes representan una estrategia de control térmico difundida y aplicada sobre las más diversas soluciones constructivas, entre las que se encuentran los techos de chapa. Este trabajo muestra la metodología y resultados de mediciones térmicas realizadas en cubiertas verdes sobre techo de chapa en Córdoba Argentina. Se muestra la solución constructiva adoptada para la cubierta vegetal. Las mediciones, de temperatura exterior e interior y radiación solar, se realizaron para una misma tipología de cubierta bajo dos situaciones diferentes: chapa desnuda al exterior y con sobrecubierta vegetal. El estudio comparado permite poner en evidencia la influencia de la cubierta vegetal como reguladora de las condiciones térmicas interiores. Se destaca su capacidad de amortiguamiento y el control del sobrecalentamiento interior debido a la radiación solar, con diferencias de temperatura entre ambas situaciones del orden de 10°C en los intervalos de máxima irradiancia. Este tipo de solución de cubierta verde tiene enorme potencial para mejorar la calidad de vida de la vivienda popular, y se propone como aporte a la conferencia ONU-Habitat III.

Palabras clave: comportamiento térmico, cubierta verde, confort climático, eficiencia energética

¹ Instituto de Investigación de Vivienda y Hábitat (INVIHAB – FAUD - UNC). Av. Vélez Sarsfield 264 (1er cuerpo, 1er piso), Córdoba, Argentina. iinvihab@gmail.com

² Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas (CIAL - FAUD – UNC). Pabellón CIAL, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. cial.unc@gmail.com

Thermal performance of green covers on metal roofs in Cordoba – Argentina

Abstract

The roof is one of the most exposed envelope, taking a leading role in the energy exchange. Green roofs represent a widespread thermal control strategy applied to diverse constructive solutions, among which are the metal roofs. This paper presents the methodology and results of thermal measurements in green roofs on metal sheet in Cordoba Argentina. The constructive solution adopted for the green roof is shown. Measurements, indoor and outdoor temperature and solar radiation, were performed for the same type of roof under two different situations: only sheet metal and with vegetation cover. The comparative study allows conclusions that show the influence of vegetation cover as a regulator of internal thermal conditions. Buffer capacity and control of internal overheating due to solar radiation is highlighted. The temperature differences between both situations are the order of 10 ° C at intervals of maximum irradiance. This kind of green roof solution has a greatest potential for improving the quality of life in popular housing, as contribution to conference UN-Habitat III.

Keywords: thermal behavior, green cover, climate comfort, energy efficiency

Introducción

La importante densificación de las ciudades producto del crecimiento demográfico y del abandono de las áreas rurales, han sido uno de los motivos del efecto de sobrecalentamiento de las áreas urbanas conocido como isla de calor, con el consiguiente deterioro del confort térmico, la calidad de vida, el aumento de la demanda de energía y la contaminación. Las cubiertas verdes aparecen como una alternativa viable, sustentable y efectiva para la mitigación del fenómeno de la isla de calor, siendo un recurso cada vez más extendido en diversos climas y regiones (Lopes, 2007), (Zielinski, 2012).

La incorporación del verde en terrazas accesibles o techos vivos es conocida desde hace siglos en la arquitectura vernácula; siendo utilizados con la función principal de moderar las variaciones climáticas del interior de las viviendas. Pero en las últimas décadas la importancia que fueron adquiriendo estas prácticas a través del tiempo, de su perfeccionamiento y divulgación, tomaron protagonismo en la escena política global, poniendo a estas como herramienta central para la adaptación y mitigación del cambio climático de las ciudades. Por ejemplo, en 2008, la Comisión Europea estableció que a partir de 2010 entregaría el título de “Capital Verde Europea” a la ciudad que esté adoptando iniciativas sustentables para tener un medioambiente más saludable. La primera ciudad en ganar este premio fue Estocolmo, seguida por Hamburgo (2011), Vitoria Gasteiz (2012) y Nantes (2013). En 2014, la Capital fue Copenhague: la ciudad estableció planes estratégicos de sustentabilidad y cambio climático que pusieron como eje central que los techos de los nuevos edificios sean obligatoriamente “techos verdes” (Martínez Gaete, 2014). En Alemania, Austria y Suiza se constituyeron marcos de regulatorios y políticas de apoyo para azoteas verdes; importantes incentivos locales priorizaba el objetivo principal de reducir las inundaciones urbanas. Asimismo, la ciudad de Berlín se plantea alcanzar una relación más eficiente entre el sistema construido y natural de la ciudad, aplicando políticas similares a las ciudades de Munster y Stuttgart, con planes de Incentivos por financiamiento directo e indirecto, promoción, asesoramiento, información, etc.

En Argentina, entre los primeros antecedentes están: la ciudad de Rosario, donde a través de una ordenanza se crea un programa de terrazas verdes, y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, donde se sancionó la ley CABA N° 4428 (GCABA, 2013), cuyo objetivo es contribuir de manera sustentable con el medio ambiente urbano aplicando incentivos indirectos para su ejecución e incorporando estas soluciones arquitectónicas a su código de edificación. En este sentido, en los concejos municipales de las ciudades de Santa Fe y Córdoba se inició la discusión sobre cómo fomentar la implementación de “terrazas verdes o ecológicas” en edificios públicos y privados.

Por otra parte, está demostrado para ciudades como Mendoza (Flores Asin *et al.*, 2013), que la posibilidad de incorporar coberturas vegetales alcanza el 61% en la alta densidad constructiva, y que es más restringida con baja densidad: aproximadamente un 36%. Aunque en este último caso, la disponibilidad de superficie abierta es mayor, posibilitando otros recursos como los patios ajardinados.

Otra de las ventajas del manejo de cubiertas verdes es el potencial de ahorro de energía, principalmente eléctrica, por disminuir la carga de aire acondicionado en verano, así como la reducción de costos de mantenimiento al trabajar con menores temperaturas. En estudios realizados en México (Torres Rodríguez & Morillón Gálvez, 2007) el ahorro por techo verde ascendió a un 8% (2.104 kW) de lo que, en un inicio, gana térmicamente el edificio, demostrando que el techo verde es una efectiva capa aislante, principalmente en climas templados como el estudiado.

Si bien el tema avanza en diversos países como estrategias de escala urbanas frente al cambio climático, el caso que estudiamos en este artículo es original porque, además, tendría transferencia a políticas de mejoramiento de vivienda, principalmente social. La tipología de techo verde que analizamos está muy poco desarrollada debido a características inusuales, tales como: capa vegetal de escaso espesor sobre techo no accesible, de chapa muy simple, con pendiente mínima y con muy bajo costo de construcción y mantenimiento. Esta alternativa tiene alto potencial como solución tecnológica de bajo costo para mejorar la aislación de viviendas de sectores de escasos ingresos, donde la solución de un techo de chapa sin aislación térmica está muy difundida en barrios y asentamientos pobres de casi todo el país y América Latina.

Es importante considerar el uso de la chapa como cubierta económica para techos en las viviendas. La mayoría de las viviendas precarias utilizan techo de chapa para protegerse de las inclemencias climáticas. La chapa resuelve el paso de la lluvia, pero genera una situación insalubre térmicamente: mucho frío o mucho calor en el interior de la vivienda. Se resuelven generalmente con insuficiente altura, sin ventilación y sin aislantes. Se puede lograr adecuado confort térmico y habitabilidad en una vivienda por dos estrategias: a través de tecnologías constructivas más sofisticadas y diversas que encarecen la obra, o de acondicionamiento artificial, que consume energía y genera emisiones; o bien, mediante una solución tecnológica muy simple, que mejore la aislación a bajos costos y sea accesible para la gente, como es la solución constructiva que se estudia en este artículo.

Desde el punto de vista metodológico, se constata que en la bibliografía internacional existen antecedentes en la evaluación objetiva del comportamiento o rendimiento térmico de cubiertas verdes. En todos los casos, las mediciones se basan en el relevamiento de la temperatura en un lapso de tiempo, y con intervalos suficientes para analizar la variación temporal de la temperatura a lo largo de varios días. Las técnicas de medición implican la incorporación de sensores de temperatura, exteriores, interiores y, cuando es posible, en alguna de las capas interiores de la cubierta.

En trabajos realizados en Toronto, Canadá, se evalúan comparativamente dos sistemas de techos verdes con 75 a 100 mm de sustrato ligero; en ambos casos, se reduce el flujo de calor a través del techo en un 70-90% en el verano y 10 a 30% en el invierno (Liu & Minor, 2005). Se demuestra que las cubiertas verdes son eficaces para reducir el flujo de calor a través del techo y la demanda de energía para el acondicionamiento del edificio. En general, se concluye que el techo verde permite la integración de dos efectos positivos: el sombreado de la cubierta por la vegetación y la incorporación de masa térmica mediante el espesor del sustrato (Vecchia *et al.*, 2006).

En esta ponencia se muestran los resultados de una medición experimental comparativa del rendimiento de una cubierta verde sobre un prototipo de techo de chapa en la ciudad de Córdoba. Cada diseño de techo vegetado sobre chapa implica consideraciones respecto de las características propias de cada región, el clima y particularidades del edificio. La ciudad se encuentra a una altura aproximada de 500 msnm; su clima es templado cálido, se caracteriza con estaciones bien marcadas: el verano con altas temperatura y alta humedad relativa y con la presencia de la temporada de lluvias; el invierno seco, con temperaturas moderadas, tendientes a bajas.

A los efectos de la comparación, se midieron las temperaturas interiores alcanzadas en el pleno inferior de la cubierta existente entre la chapa y el cielorraso, con cobertura vegetal y sin cobertura.

Metodología

Se toma como caso de estudio experimental, el desarrollo de cubierta verde diseñado y ejecutado por la arquitecta Sara Pomazán del estudio Techos Vivos, que se concretó en los techos de chapa de locales comerciales de la galería Muy Güemes, ubicada en el corazón de barrio Güemes, en la Ciudad de Córdoba, Argentina (figura 1). La galería comercial y el espacio de arte, es un proyecto de los arquitectos Agustina Gennaro, María José Péndola y Emilio Bruno, quienes desarrollaron en las antiguas instalaciones de este galpón una innovadora propuesta. Güemes es un antiguo barrio de la ciudad, próximo al área central, con mucha identidad social y cultural. En este sector no existen espacios verdes suficientes en relación al marcado crecimiento edilicio, que, sumado al pavimento de las calles, contribuye a la intensificación del fenómeno de isla de calor urbano.

Figura 1. Caso de estudio Galería Comercial “MUY GÜEMES”, Córdoba, Argentina.



Fuente: Fotografía de los autores

Utilizando criterios de sostenibilidad, el proyecto arquitectónico plantea reciclar, reutilizar y recuperar los materiales del antiguo galpón. La gran innovación fue utilizar cubiertas verdes muy simples y no accesibles sobre estos techos reciclados de chapa, con los objetivos de recuperar como

superficie verde un porcentaje del suelo ocupado, al tiempo que se lograba una mejora estética del conjunto arquitectónico; contribuir a la disminución de la temperatura exterior general, con lo que mejora la isla de calor urbana; promover la absorción y recuperación del agua de lluvia; reducir la temperatura interior de los locales, apuntando a lograr confort con menos consumo energético, lo que, en conjunto, representa una disminución en las emisiones y contaminación ambiental. Otro valor arquitectónico es que se genera la quinta fachada, que puede ser apreciada desde los bares-terrazas de la misma galería y desde los edificios adyacentes (figuras 2 y 3).

La antigua construcción en la que se intervino con el nuevo proyecto, estaba en un terreno que llegaba hasta el corazón de manzana, donde la normativa prohíbe construir para preservar una proporción de área verde al interior de la manzana tradicional. El proyecto arquitectónico que se planteó a las autoridades municipales, y que fue aprobado, proponía la recuperación de una superficie equivalente al corazón de manzana ocupado mediante la construcción de las cubiertas vegetales en algunos locales, con una superficie promedio cada uno de 25 m². Esto generó, además de una tipología innovadora, una nueva normativa para la ciudad.

Por las características del proyecto arquitectónico y el clima del lugar, se optó por una cubierta vegetal de tipo extensivo, que requiere de espesores mínimos, pendientes de 0° a 30° y plantas de porte bajo. Se priorizaron especies vegetales autóctonas y/o adaptadas al clima, con mínimos requerimientos de riego, para facilitar su mantenimiento y gastos de cuidado a lo largo de su vida útil. Con este criterio se cubrió la superficie del techo de chapa con Grama Bermuda Criolla (*Cynodon dactylon*), especie perenne muy utilizada en nuestro país por su crecimiento rastrero muy vigoroso, su textura media a fina y su alta resistencia a sequías; durante el invierno entra en reposo hasta la primavera; necesita de 6 a 8 horas de luz solar directa por día para mantener una buena tasa de crecimiento; se adapta a distintos tipos de suelo y tiene un alto ritmo de crecimiento durante el verano. También se utilizaron plantas arbustivas para estimular y producir movimiento en el aire circundante, tolerantes al sol, frío y calores extremos, característicos de los últimos periodos estivales en la ciudad de Córdoba. Las especies utilizadas son *Pennisetum villosum* y *Thulbaghia violácea*, de origen africano. Son plantas asilvestradas, con excelente adaptación a climas extremos y poca necesidad edáfica.

Figura 2. Vista superior de la cubierta verde-primavera



Figura 3. Vista de la cubierta verde-invierno



Fuente: Fotografía de los autores

A partir de este proyecto, construido y en funcionamiento, se realiza la investigación del comportamiento térmico de las cubiertas de chapa. Las mediciones se realizan en locales del paseo

comercial a cielo abierto, donde se comparan situaciones de chapa desnuda al exterior con situaciones de chapa con la cubierta vegetal. Se seleccionan cuatro locales, dos locales con orientación este y dos locales con orientación oeste. Para cada orientación se analiza uno con sustrato vegetal y el otro sin. Los locales se ubican espejados y cuentan con iguales dimensiones y resolución constructiva. La distribución de los locales y ubicación de sensores se muestran en las planta y corte esquemático de las figuras 4 y 5.

Figura 4. Planta general con ubicación de sensores de temperatura

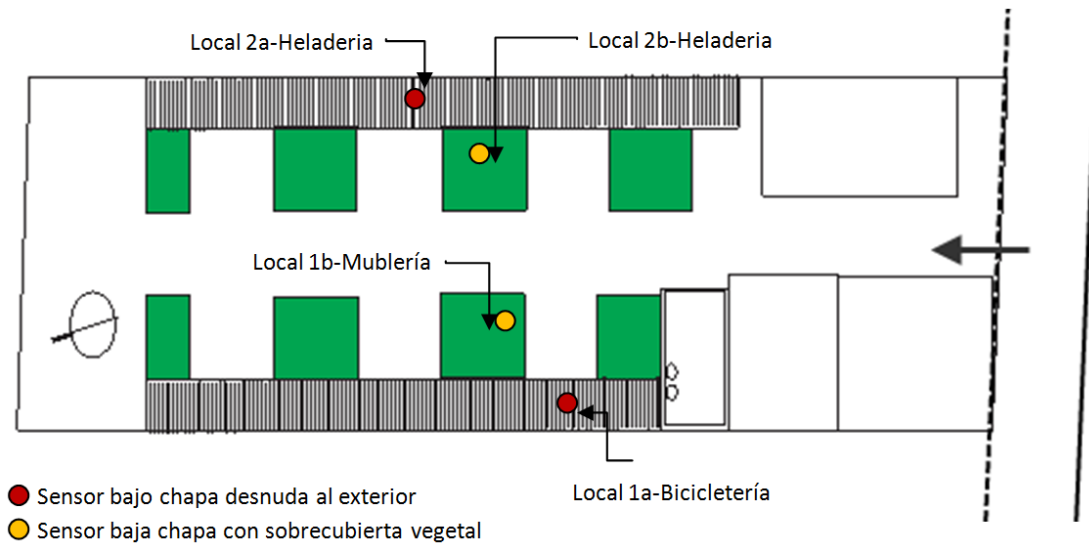
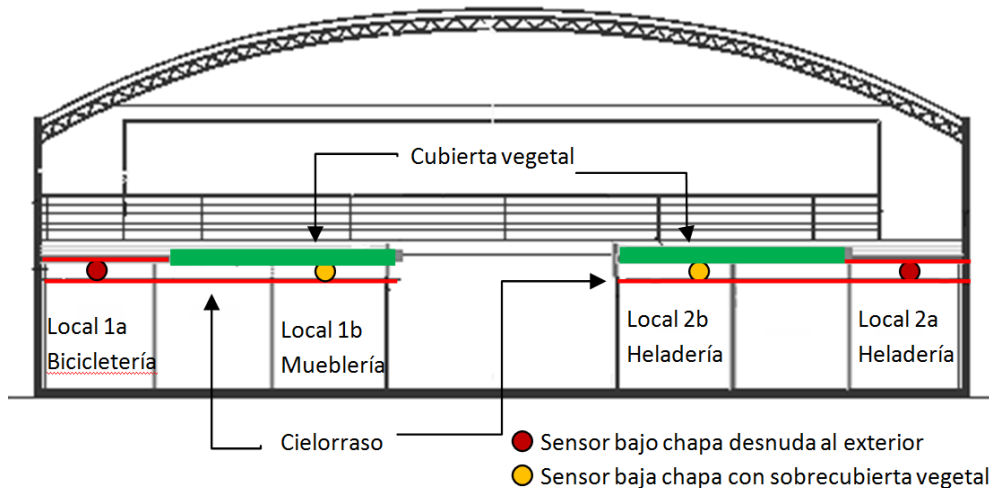
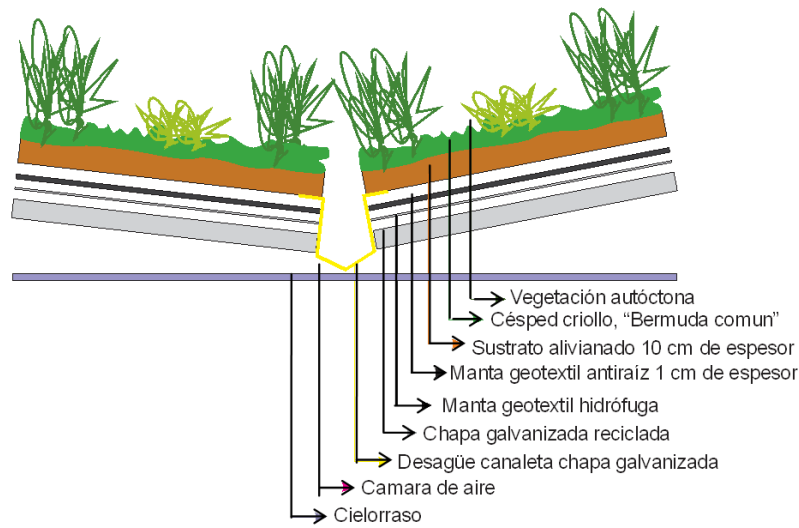


Figura 5. Corte general con ubicación de sensores de temperatura



Tratándose de una construcción de cubierta de chapa con sustrato vegetal de 100 mm aproximadamente, con cámara de aire y con cielorraso de lana de vidrio por la parte inferior (detalle en figura 6), se aprovechó la cámara de aire para ubicar los sensores de temperatura interiores inmediatamente por debajo de la chapa en el interior de la cámara de aire (figura 7).

Figura 6. Detalle cubierta vegetal



Para las mediciones de temperatura en el interior de la cámara de aire se utilizaron sensores tipo *dataloggers* marca Onset modelo Hobo (figura 8). Los sensores fueron ajustados para almacenar un valor de temperatura cada 15 minutos. Los datos de temperatura exterior y radiación solar fueron relevados mediante una estación meteorológica marca Davis modelo VantagePro2. Al igual que los sensores interiores la estación fue programada para almacenar un valor cada 15 minutos.

La disposición de los sensores entre la cubierta y el cielorraso posibilita que las mediciones no sean afectadas por el uso del aire acondicionado y por los motores de las heladeras de los locales. Si bien las temperaturas de la cámara de aire no indican las condiciones interiores reales, están afectadas directamente por la cubierta y por lo tanto son un indicador directo del impacto de la cubierta vegetal en el aislamiento y la inercia térmica.

Figura 8. Ubicación de sensores en cámara de aire



Figura 7. Sensores tipo HOBO



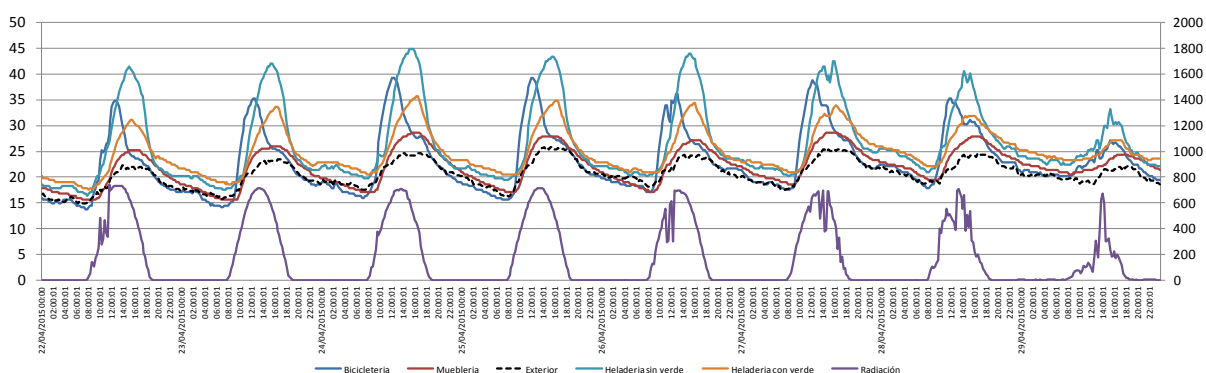
Fuente: Fotografía de los autores

Resultados

En la gráfica de la figura 9 se muestra una semana representativa del intervalo completo de medición, abril-mayo de 2015. Se indica en línea de trazos la variación de la temperatura exterior, superpuesta a la fluctuación de las temperaturas en las cámaras de aire de la cubierta para los cuatro locales analizados. En la parte inferior de la gráfica se indica la variación de la radiación solar en W/m^2 .

En todos los casos existe un incremento de la temperatura dentro de la cámara de aire, siendo significativamente menor en los casos de cubierta vegetal. Paralelamente se observa un importante amortiguamiento en las temperaturas de la cámara de aire correspondiente a los locales que poseen cubierta vegetal sobre los que no la poseen. En los casos de cubierta de chapa desnuda, el incremento brusco de la temperatura y las variaciones temporales que tienen las mismas, se relaciona directamente con la curva de radiación solar, siguiendo el mismo comportamiento. El impacto de la radiación solar se visualiza en la diferencia entre los días de máxima irradiación y los días nublados. En este sentido, también se observa en la curva del local 1a, una caída inmediata de la temperatura cuando parte de la cubierta es sombreada por construcciones vecinas, después del mediodía.

Figura 9. Temperaturas intervalo de medición.



En la tabla 1 se indican los valores de temperatura medias, máximas medias y absolutas y mínimas medias y absolutas. Los valores más altos de temperatura se registran en el local 2a, que no posee cubierta vegetal y la chapa se encuentra asoleada durante todo el día; la temperatura media es del orden de los 26°C, con una máxima media de casi 33°C; esto es: 9°C por encima de la temperatura máxima media exterior. El mayor amortiguamiento se registra en el local 1b con cobertura vegetal y sombra parcial después del mediodía; en este caso, la máxima media es de solo 3°C por encima de la exterior, con una media de 22°C.

Tabla 1. Valores temperaturas medias: medias, máximas y mínimas interior y exterior.

| Local | Interior | | | | Exterior |
|-----------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| | 1a- sin cobertura Biciclería | 1b-con cobertura Mueblería | 2a-sin cobertura Heladería | 2b-con cobertura Heladería | |
| T media | 22.9°C | 22.0°C | 26.3°C | 24.9°C | 20.6°C |
| T máxima | 35.7°C | 27°C | 41.4°C | 32.8°C | 24.1°C |
| T max abs | 39.2°C | 28.7°C | 44.9°C | 35.7°C | 25.8°C |
| T mínima | 16.4°C | 17.7°C | 19.6°C | 20.6°C | 17.2°C |
| T min abs | 13.7°C | 15.6°C | 16.4°C | 17.5°C | 14.9°C |

Figura 10. Temperaturas días de total irradiancia locales tipo 1 con y sin cobertura vegetal

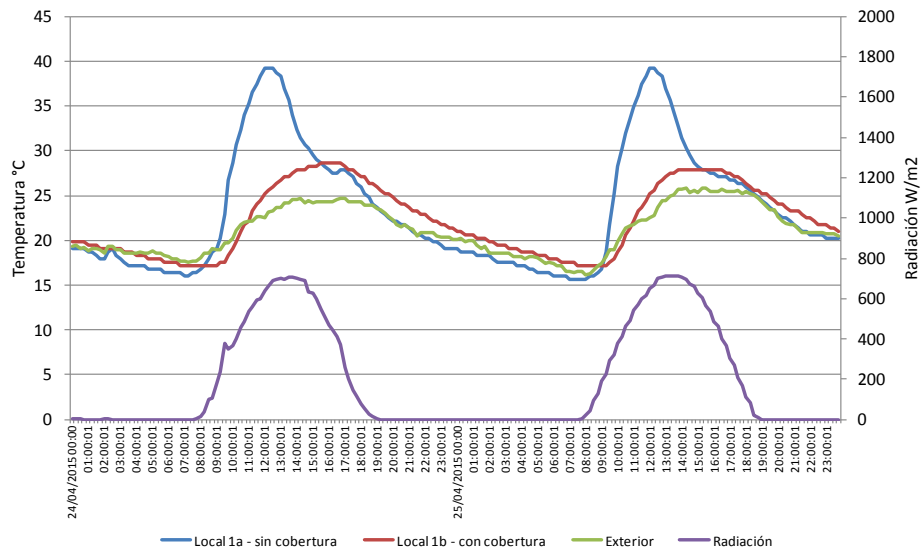
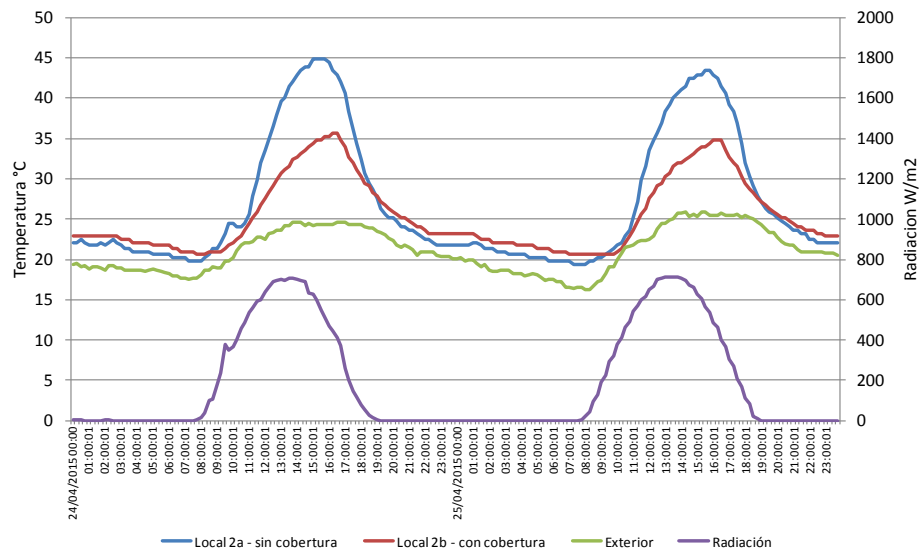


Figura 11. Temperaturas días de total irradiancia locales tipo 2 con y sin cobertura vegetal



Las gráficas de las figuras 10 y 11 se corresponden con un intervalo de dos días de máxima irradiancia. Se observa en detalle que el incremento de temperatura (sobrecalentamiento con respecto a la variación de la temperatura exterior) coincide con la curva de radiación solar. Para locales 1, el sobrecalentamiento se ve disminuido por las horas de sombreado de edificios vecinos. Los locales 2 tienen asoleamiento durante todo el intervalo. En ambos casos, la diferencia de temperaturas máximas, entre cubierta vegetal y chapa sola, es de aproximadamente 10°C. Las temperaturas mínimas se aumentan entre 4 y 5°C con respecto a la exterior cuando la cubierta posee cobertura vegetal, producto de la inercia térmica aun con poco espesor de sustrato. El buen desempeño térmico del local 1b (mueblería) se atribuye a la cubierta verde acompañada con un control de la radiación solar directa.

Conclusiones

Resumiendo, la bibliografía y la experiencia internacional señalan que son muchos los beneficios que las cubiertas vegetales pueden ofrecer a las ciudades: restitución de superficies verdes en áreas urbanas que contribuyen a la conservación de hábitats naturales, donde se recrean pequeños ecosistemas urbanos que, a su vez, pueden interconectarse a corredores biológicos e integrarse al ecosistema territorial general; mejora del microclima local y de la calidad del aire mediante la reducción de partículas contaminantes; capacidad de acumulación de agua de lluvia, con lo que se reducen y retardan escorrentías que provocan inundaciones; mediante una estrategia de repetición en escala urbana para llegar a superficies significativas, se puede reducir el efecto isla de calor en las ciudades y evitar un porcentaje de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que constituye una de las estrategias más valoradas en las políticas públicas para mitigación y adaptación al cambio climático. A escala del edificio permiten: la reutilización multifuncional de las terrazas y cubiertas de edificios, generando nuevas opciones para los usuarios; la mejora del aislamiento térmico y el ahorro de energía; la mejora del aislamiento acústico.

Para el caso particular de estudio del paseo Muy Güemes, con su propuesta de sobrecubierta vegetal sobre cubierta de chapa, se ha logrado demostrar el significativo amortiguamiento -del orden de los 10°C- que tiene esta solución arquitectónica en comparación con el comportamiento de la chapa descubierta. Lo cual significa que su uso proporciona un importante aporte para llegar a las condiciones de confort interna. Aún con poco espesor de sustrato, la cubierta verde analizada presenta un excelente comportamiento frente al retraso del calor y a la eficiencia energética. Es probable que, paralelamente, el comportamiento térmico de la cubierta vegetal contribuya como atenuante de la isla de calor de la ciudad Córdoba. Sumados a los beneficios térmicos, se pondera en este caso el impacto visual de las cubiertas verdes de los locales, no solo en cuanto a la percepción desde los espacios abiertos del paseo comercial, sino también la evidente mejora del paisaje urbano de una porción del barrio, visible desde la edificación circundante con alta densidad habitacional.

Frente a usuales altos costos de ejecución y mantenimiento de los techos verdes, se destaca la solución arquitectónica-constructiva utilizada en los locales de Muy Güemes, como económica y de muy bajo mantenimiento, debido al tipo de solución técnica sencilla elegida: espesores reducidos de sustrato, uso materiales convencionales y de bajo costo, priorización de especies autóctonas y de criterios paisajísticos acordes al contexto de la región.

Queda pendiente comprobar el comportamiento de las cubiertas verdes en el retardo y escurrimiento de las aguas de lluvia para el régimen pluvial en el clima de la ciudad de Córdoba. Está previsto repetir el estudio en cubiertas similares y en épocas de temperaturas extremas, frío o calor, con el objetivo de profundizar y generalizar el estudio realizado.

Este equipo de investigación considera que la opción de cubierta vegetal simple sobre techo de chapa, como la analizada, es una respuesta viable a gran escala, por ser económica, sostenible, natural y eficaz en la mejora del confort y la calidad de vida de las personas. En consecuencia, se propone a los tomadores de decisión sobre políticas públicas relacionadas al hábitat social y la vivienda –en particular en el marco del debate de la Conferencia Internacional de Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sustentable, HABITAT III- pensar en futuros proyectos que introduzcan techos vegetales en cubiertas de chapas como alternativa en viviendas populares que, en la actualidad, carecen de condiciones mínimas de habitabilidad, en pos de generar hábitats más

saludables, con condiciones de vida dignas para los sectores populares, así como impactos positivos a escala de la ciudad y a escala global.

Bibliografía

- Flores Asin, J. Emiliano; Martínez, Claudia F.; Cantón, M. Alicia (2013). *Tecnologías verdes. Potencial de aplicación en el área metropolitana de Mendoza (AMM)*. Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 1, pp. 05.115-05.120, 2013.
- GCABA (2013) *LEY CABA N° 4.428 “Techos o Terrazas Verdes”*. Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Publicado en el B.O. CABA N° 4078 el 21-01-2013
- IPCC (2014) *Cambio Climático: implicaciones para las Ciudades. Las principales conclusiones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático Quinto Informe de Evaluación*. Universidad de Cambridge.
- Liu, K.; Minor, J. (2005). *Performance evaluation of an extensive green roof*. National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction Toronto
- Lopes, D.A.R. (2007). Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP.
- Martínez Gaete, Constanza (septiembre 2014) “Las metas de las Capitales Verdes Europeas para 2015 y 2016 - Un edificio nuevo, un techo verde: La política de Copenhague para ser carbono neutral en 2025” - <http://www.plataformaurbana.cl>
- Torres Rodríguez, Agustí; Morillón, Gálvez David (2007). *Evaluación del uso de techos verdes en clima templado: Caso Ecatepec de Morelos, estado de México, México*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 11, 2007. Impreso en la Argentina.
- UN-Habitat III <https://www.habitat3.org/the-new-urban-agenda/about>
- Vecchia, Francisco; Castañeda; Gabriel; Quiroa, Jaime Andrés. (2006). *Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales, ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales*. Tecnología y Construcción v.22 N.2. Caracas. Mayo 2006. ISSN 0798-9601.
- Zielinski, S.; García Collante, M.A.; Vega Paternina, J.C. (2012). Techos verdes: ¿una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero de Rodadero, Santa Marta?. Gestión y Ambiente. Vol.15, N°1, mayo de 2012, Medellín, pp 91-104.

Cubiertas verdes en zonas áridas. Su eficiencia como estrategia de ahorro energético en verano e invierno.

J. Emiliano Flores Asin¹, Claudia F. Martinez¹, M. Alicia Cantón¹, Erica N. Correa¹

Resumen

Los techos vegetados constituyen estrategias de enverdecimiento que a escala edilicia controlan las altas temperaturas estivales en espacios interiores y a escala urbana contribuyen a mitigar el fenómeno isla de calor. Este trabajo evalúa, el efecto de cubiertas vegetadas con especies adaptadas -*Aptenia cordifolia*, *Sedum spectabile*- a climas cálido-secos sobre el comportamiento térmico de espacios interiores y su consecuente ahorro energético. Metodológicamente se ha monitoreado el desempeño térmico durante verano e invierno en tres box experimentales -uno con cubierta tradicional y dos vegetados-. Los resultados indican que las cubiertas vegetadas en verano disminuyen la temperatura interior 1,6 °C generando ahorros medios de energía para refrigeración del 30-35 %. En invierno si bien no hay variaciones notables, se observan ahorros energéticos diurnos del 2-4 %. El diseño de esta tecnología requiere evaluarse a nivel local para maximizar su eficiencia energética y garantizar la sustentabilidad urbano-edilicio según los recursos y tecnologías disponibles.

Palabras clave: Techos verdes, Comportamiento térmico, Ahorro energético, Zonas áridas.

Green Roofs in Arid Cities. Efficiency as Energy Saving Strategy in Summer and Winter.

Abstract

Green roofs are greening strategies that controls the high summer temperatures in the indoor spaces at building scale and help mitigate the heat island phenomenon in urban scale. This work evaluates the effect of vegetated roofs with adapted species -*Aptenia cordifolia*, *Sedum spectabile*- in warm-dry climate in relation to the thermal behavior of indoors spaces and the consequent energy savings. Methodologically the thermal performance during summer and winter has monitored, in three experimental boxes- one with a traditional roof and two with vegetated roofs-. The results indicate that in the green roofs, indoor summer temperature decreases of 1,6 °C generate energy savings for refrigeration of 30 to 35%. In winter, although there are not notable variations, diurnal energy savings of 2-4% is observed. The design of these new technologies should be assessed at local level to

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE CCT CONICET Mendoza). Av. Ruiz Leal, s/n. Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina. Tel: +54-261-524-4310. e-mail: eflores@mendoza-conicet.gob.ar

maximize energy efficiency and ensure urban-building sustainability according to resources and technologies available.

Palabras clave: Green Roofs, Thermal Behavior, Energy Savings, Arid Cities.

Introducción

En ciudades de elevada antropización, el sellamiento de suelos, el uso de materiales inadecuados en envolventes edilicias y el calor generado por motores de combustión, principalmente, ocasionan una diferencia de temperatura entre el espacio urbano y el espacio circundante no urbano, que se denomina efecto de isla de calor urbano (ICU) (Alchapar y Correa, 2013). El aumento de temperatura en zonas urbanas derivado del fenómeno de ICU provoca un mayor consumo energético destinado a refrigeración para el acondicionamiento térmico de edificios. El uso eficiente de la energía es uno de los pilares de la sostenibilidad urbana en ciudades consolidadas y la aplicación de políticas para tal fin tiene suma relevancia en un contexto de aumento de su demanda debido al crecimiento económico e industrial y a mayores exigencias de habitabilidad (Rosenfeld et al., 2007; Cárdenas, 2011).

La incorporación de estrategias de mitigación del efecto de ICU, en un contexto de planificación urbana, colaborará a que la temperatura en las ciudades se aproxime al rango de confort para el ser humano, evitando que luego se deba consumir mayor cantidad de energía para contrarrestar este fenómeno. La valoración de la sustentabilidad urbana deja de manifiesto el rol de la vegetación (Pincetl, 2012), ya que la misma puede reducir las temperaturas urbanas de 0,5 a 4,0 °C (Qiu et al., 2013). Una de las principales estrategias de mitigación de ICU es la incorporación de espacios verdes en vacíos urbanos a través de parques, plazas, arbolado de alineación vial, patios y nuevas tecnologías como muros y techos vegetados. Las nuevas tecnologías verdes, permiten la incorporación de vegetación a envolventes edilicias en ciudades consolidadas donde no se cuenta con vacíos urbanos disponibles para otro tipo de estructura verde tradicional. Estudios previos han demostrado que dependiendo del clima de la región y de la cantidad de vegetación, la economía de energía que generan estas tecnologías, varía entre un 35-95% (Alexandri y Jones, 2006).

A nivel internacional, la incorporación de nuevas tecnologías verdes está en auge, ya que impacta en la reducción de los efectos del calentamiento global, la contaminación atmosférica y el nivel de ruidos, como también en la disminución del efecto de la ICU y en el acondicionamiento térmico edilicio, con la consecuente disminución de los consumos de energía (Dunnet y Kingsbury, 2004; Wonga et al., 2009). Si bien en Europa y América del Norte estas tecnologías ya están siendo aplicadas, su incorporación a los contextos locales se encuentra aún en fase de experimentación.

En Argentina, el interés por estas tecnologías se ha incrementado desde el año 2013 con la aprobación de la Ley N°4.428. Esta ley tiene por objeto la implementación de "Techos o Terrazas Verdes" en el ámbito de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Dicha ley menciona que los propietarios de edificaciones que implementen y mantengan techos verdes, gozarán de una reducción de hasta el 20% las tasas de alumbrado, barrido y limpieza. Tal estímulo promueve el uso de la tecnología y colabora al metabolismo urbano trayendo grandes beneficios a nivel urbano. Sin embargo, su implementación requiere evaluar el desempeño termo-energético en la zona.

En particular, a nivel local la mayor parte del territorio de la provincia de Mendoza se ubica integrando el mosaico mundial de las Zonas Áridas. La incorporación de vegetación en estas zonas

presenta condicionantes específicas: alta insolación y amplitud térmica; baja precipitación y humedad relativa. Por ende, la manutención de espacios verdes depende de riego artificial.

En el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) resultados de mediciones en prototipos experimentales indican que en espacios interiores a la cubierta vegetada, disminuciones de temperatura de 1,5 a 1,6 °C generarían ahorros de energía eléctrica destinada a refrigeración del orden del 32% al 34% en la estación de verano (Flores Asin et al., 2015). Otros autores han evaluado el comportamiento térmico de las cubiertas vegetadas en la estación invierno determinando que la temperatura en el sustrato es 7 a 8 °C más elevada que la temperatura alcanzada en cubiertas tradicionales y sus consecuentes ahorros energéticos destinados a calefacción (Teemusk y Mander, 2010).

Para el AMM, emplazada en un contexto árido, se plantea la necesidad de avanzar en el estudio y desarrollo de sistemas de naturación urbana que empleen especies de bajo consumo hídrico, y que permitan un apropiado acondicionamiento térmico. El potencial de incorporación de nuevas tecnologías verdes es elevado en la alta densidad constructiva de la ciudad capital -61%- (Flores Asin et al., 2013). La aplicación de estas tecnologías -con adaptación a restricciones hídricas- permitiría incorporar masa vegetal al espacio urbano-edificio y contribuiría al ahorro energético.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de cubiertas vegetadas en el comportamiento térmico de espacios interiores y su consecuente ahorro energético, en verano e invierno en zonas de clima cálido-seco.

Metodología

1. Diseño experimental

El diseño experimental sigue la metodología propuesta por La Roche (2009) y tiene por objeto analizar en forma comparativa la influencia de cubiertas tradicionales y de cubiertas vegetadas adaptadas a los condicionantes locales, sobre el comportamiento térmico de espacios interiores. A tal fin, en el área experimental del CCT CONICET Mendoza (latitud 32°53'52.83"S, longitud 68°52'31.30"O) se montaron tres box de ensayo: un box testigo con cubierta tradicional sin vegetar (CT) y dos box con cubiertas vegetadas con distintos paquetes biológicos (denominadas CV1 y CV2).

Los box de ensayo conforman volúmenes ciegos de 1 m³, de carácter liviano y aislado al exterior. Tecnológicamente, muros y pisos están compuestos por tres capas: placa cementicia en la cara interior (espesor 10 mm), aislación térmica de poliestireno expandido de baja densidad (espesor 50 mm) y placa de fenólico en la cara exterior (espesor 18 mm), acabado esmalte sintético color blanco. La cubierta es de hormigón armado (espesor 150 mm; peso específico 2400 Kg/m³; dosificación en volumen: 1-3-3 cemento, árido grueso y fino, aislada hidráulicamente (membrana Sika® Sarnafil F 610-12 Felt). Ésta última, tiene por objeto evaluar el tipo constructivo comúnmente empleado en la resolución de techos en el parque edilicio del AMM.

La cubierta vegetada está definida por un manto drenante Sika® GR Aquadrain Extensivo, un sistema de riego por goteo subsuperficial, sacos de geotextil (3) contenedores del sustrato (arena, orujo agotado y turba negra en iguales proporciones; espesor 150 mm) y las especies vegetales. En este trabajo se evalúan dos especies de disponibilidad local y alta tasa de reproducción agámica: *Aptenia cordifolia* (L. f.) Schwant. "Baby rose" y *Sedum spectabile* (Boreau) H. Ohba "Sedum otoño" (Fig. 1).

Figura 1: Diseño Experimental.

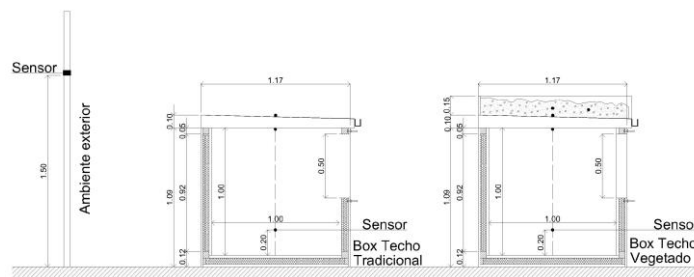
| Características de las especies vegetales evaluadas. | | Cubierta vegetada <i>Aptenia cordifolia</i> (CV1) | Cubierta vegetada <i>Sedum spectabile</i> (CV2) | Cubierta testigo (CT) |
|--|----------|--|--|-----------------------|
| Cobertura (%) | Verano | 76,10 | 79,00 | - |
| | Invierno | 80,99 | 19,70 | - |
| Consumo hídrico (litros.m ² /año) | | 268 | 291 | - |
| Hábito de crecimiento | | Rastrero | Erguida | - |

Fuente: Figura realizada por el autor.

2. Método de medición

El diseño experimental tiene por objeto el desarrollo y monitoreo térmico de ensayos en condiciones controladas. El comportamiento térmico se evalúa a partir del registro de temperaturas -exterior e interiores- en las estaciones de verano e invierno durante periodos de 24 días. Los datos se registraron cada 15 minutos mediante microadquisidores de datos en la siguiente configuración: un sensor fijo del tipo Onset® HOBO® temp/RH logger UX100-003 en el espacio interior del box, dos sensores en la losa de hormigón -cara interna y externa- del tipo termocupla T EL-USB-TC con data logger incluido en cada una; y un sensor de referencia en el espacio abierto (Fig. 2).

Figura 2: Distribución de sensores de temperatura.



Fuente: Figura realizada por el autor.

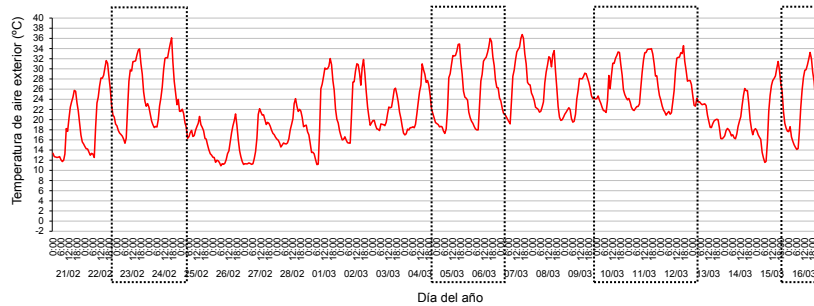
El cálculo de la demanda térmica se realiza mediante el método de grados-hora desarrollado por Erbs, et al. (1987).

Resultados

1. Selección de los días de análisis

1.1 Verano: Dentro de los 24 días que corresponden período de medición, para el análisis del comportamiento térmico y el cálculo de ahorro energético se consideraron 9 días típicos de verano (Figura 3), los cuales se presentan soleados, con una temperatura media de 26,07 °C (media histórica periodo de verano serie temporal de los años 1983 – 2014 de 24,36 °C) y una media de flujo de radiación de 709,1 W/m² - mínima 659,8 W/m², máxima de 739,7 W/m²-(amplitud 79,8 W/m²).

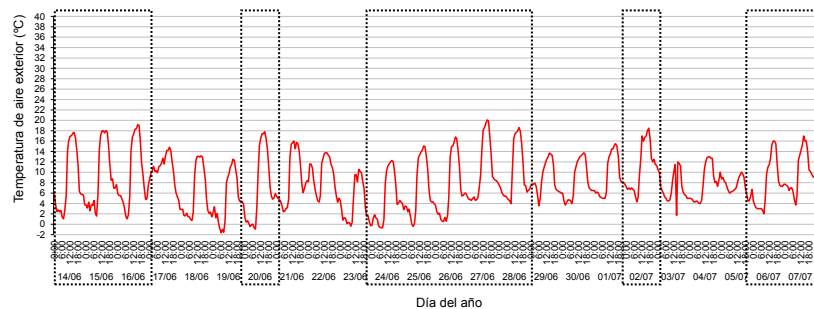
Figura 3. Periodo de medición estación VERANO.



Fuente: Figura realizada por el autor.

1.2 Invierno: Para el análisis del comportamiento térmico y el cálculo de ahorro energético en invierno, dentro de los 24 días del período de medición, se han considerado 12 días típicos (Figura 4). Dichos días se presentaron totalmente soleados con una temperatura media de 8,40 °C (media histórica periodo de invierno serie temporal de los años 1983 – 2014 de 8,90 °C) y una media de flujo de radiación de 456,4 W/m² -mínima 433,3 W/m², máxima 476,0 W/m²- (amplitud 42,7 W/m²).

Figura 4. Periodo de medición estación INVIERNO.



Fuente: Figura realizada por el autor.

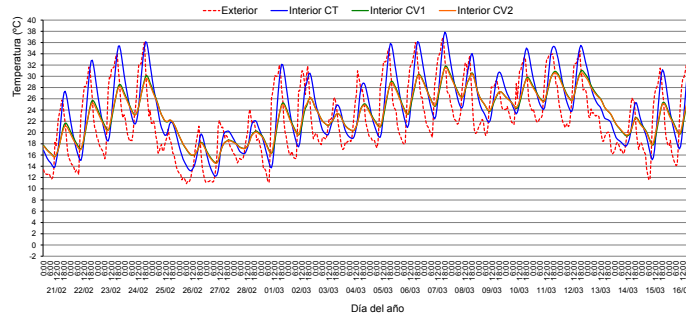
2. Comportamiento térmico

Los resultados obtenidos se analizan en forma comparativa para los tres tratamientos CT, CV1 y CV2 en torno a su comportamiento térmico y al potencial ahorro energético que implicaría su implementación masiva en áreas urbanizadas con clima local. Los datos fueron promediados en forma horaria para una mejor comprensión de los comportamientos globales.

2.1 Verano: Los valores de temperatura exterior en el ciclo de medición oscilaron en un rango comprendido entre 10,90 a 36,80 °C. La temperatura en el interior del box testigo -con cubierta tradicional- presenta una oscilación térmica de comportamiento similar aunque desfasada a la exterior con un máximo de 37,90 °C y un mínimo de 12,20 °C. En cambio, la temperatura en espacios conexos a cubiertas vegetadas presenta un rango de variabilidad de 14,50 a 31,80 °C (Figura 5). Se puede observar que la temperatura máxima interior en los box de ensayo se encuentra desfasada con respecto a la temperatura exterior debido a la masa térmica de la envolvente de los mismos. En días despejados, las temperaturas máximas y mínimas del box testigo -CT- son superiores a las exteriores en todo el ciclo de medición debido al efecto de ganancia solar y al carácter conservativo

resultante de la aislación de muros y pisos que limita la capacidad de enfriamiento del espacio interior durante la noche. Las curvas de temperatura de los box con cubiertas vegetadas -CV- se encuentran amortiguadas respecto a la temperatura exterior y al testigo.

Figura 5. Temperatura exterior e interior en la estación de VERANO



Fuente: Figura realizada por el autor.

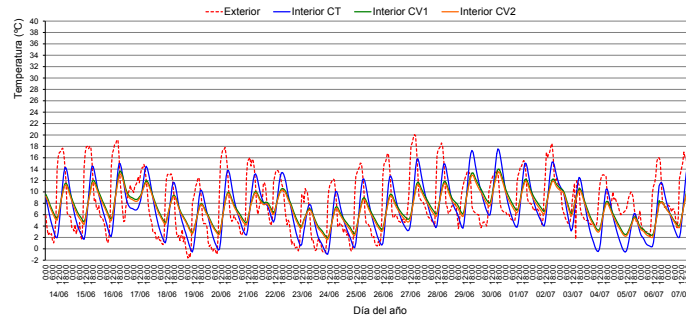
Para los días típicos de verano, la temperatura máxima exterior es similar a la interior en el box CT (35 °C) y muestra diferencias de 5,0 °C respecto a CV1 y CV2. La temperatura media exterior es semejante a CV1 y CV2, y menor respecto al tratamiento CT (1,8 °C). Las temperaturas mínimas en los box son superiores a la exterior debido al efecto de amortiguamiento térmico de la envolvente. Este efecto se acentúa en los tratamientos con cubierta vegetada, alcanzando diferencias respecto a la temperatura exterior de 4,6 °C. En consecuencia, se observa que los tratamientos con tecnología verde amortiguan la amplitud térmica notablemente (6 a 7 °C). Este efecto amortiguador es claramente observable en relación al box testigo cuya amplitud térmica es de 14,4 °C.

Tabla 1: Temperaturas medias exteriores e interiores para los 9 días de análisis en la estación de VERANO

| Temperatura (°C) | | Exterior | Interior | | |
|------------------|--|----------|----------|-------|-------|
| | | | CT | CV1 | CV2 |
| Máx. | | 34,76 | 35,61 | 29,93 | 29,63 |
| Med. | | 26,07 | 27,83 | 26,28 | 26,21 |
| Mín. | | 18,48 | 21,19 | 23,06 | 23,05 |
| ΔT | | 16,28 | 14,42 | 06,87 | 06,58 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

2.2 Invierno: Los valores de temperatura exterior en el ciclo de medición oscilaron en un rango comprendido entre -1,62 °C a 20,06 °C. La temperatura en el interior del box testigo -CT- presenta una oscilación térmica menor a la exterior (18,53 °C) con un máximo de 17,57 °C y un mínimo de -0,96 °C. En cambio, la temperatura en espacios conexos a cubiertas vegetadas presenta un rango de variabilidad de 1,60 °C a 14,02 °C (Figura 6). Queda de manifiesto al igual que en la estación de verano que la temperatura máxima interior en los box de ensayo se encuentra desfasada con respecto a la temperatura exterior. En días despejados, las temperaturas máximas del box testigo -CT- son inferiores a las exteriores en todo el ciclo de medición debido a la baja intensidad de radiación consecuencia de la altitud solar y la inercia de la losa de hormigón. Las temperaturas mínimas del box CT se encuentran por debajo de las temperaturas mínimas exteriores debido al efecto de la membrana que actúa como un material selectivo frío. Las curvas de temperatura de los box con cubiertas vegetadas -CV- se encuentran amortiguadas respecto a la temperatura exterior y al testigo debido a las características intrínsecas a la tecnología verde.

Figura 6. Temperatura exterior e interior en la estación de INVIERNO

Fuente: Figura realizada por el autor.

Al analizar los días típicos de invierno, se observa que la temperatura máxima exterior es mayor en 3,8 °C a la interior en el box CT, en cambio para las cubiertas vegetadas las temperaturas máximas interiores son menores respecto a la exterior en un valor de 6,6 °C a 6,9 °C, para CV1 y CV2 respectivamente. La temperatura media interior del box CT es menor a la exterior en 1,4 °C, en cambio para el box CV1 esa diferencia es de 1,2 °C y para CV2 es de 1,6 °C. La temperatura mínima presenta valores cercanos en el exterior (1,7 °C) como en el interior del box CT (1,6 °C). En cambio, los casos CV2 Y CV1 presentan mínimas de 3,8 a 4,2 °C superior al box CT, respectivamente. Estos resultados demuestran que las temperaturas mínimas medias son superiores en 2,2 a 2,6 °C con cubiertas vegetadas respecto a una cubierta tradicional, lo que demuestra su mejora en términos de transferencia de calor en la cubierta como parte de la envolvente, dotándola de características conservativas respecto a la energía en espacios interiores. La temperatura exterior presenta una amplitud térmica media de 15,5 °C. Al observar las amplitudes térmicas medias interiores se observa una diferencia de 3,3 °C entre el box CT respecto a la exterior. En cambio la amplitud térmica registrada en el interior de los box CV1 y CV2 es menor a la exterior y está en el orden de los 6,5 °C, en comparación a los 15,5 °C de la temperatura exterior. Esto demuestra la eficiencia del poder aislante de las cubiertas vegetadas como también se observó en la estación de verano (Tabla 1).

Tabla 2: Temperaturas medias exteriores e interiores para los 12 días de análisis en la estación de INVIERNO

| Temperatura (°C) | | Exterior | Interior | | |
|------------------|------------|----------|----------|-------|-------|
| | | | CT | CV1 | CV2 |
| | Máx. | 17,24 | 13,74 | 10,68 | 10,38 |
| | Med. | 08,45 | 07,01 | 07,21 | 06,88 |
| | Mín. | 01,72 | 01,56 | 04,18 | 03,81 |
| | ΔT | 15,52 | 12,18 | 06,50 | 06,57 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

3. Potencial de ahorro energético

3.1. Verano: En los tres tratamientos, la temperatura promedio diaria interior para los 9 días de análisis alcanza valores de 27,83 °C en CT, 26,28 °C en CV1 y 26,21 °C en CV2. En todos los casos, dichas temperaturas se encuentran por encima de la temperatura de confort -23 °C- (Tabla 2). Los box CV1 y CV2 presentan una diferencia entre temperaturas medias del orden de 1,5 °C y 1,6 °C respecto al testigo (Tabla 3). Esto se debe al efecto de las cubiertas vegetadas en las temperaturas medias interiores. La variación leve de la temperatura media entre CV1 y CV2 se explica por las diferencias intrínsecas a las especies vegetales utilizadas.

Tabla 3: Impacto de las temperaturas exteriores en los espacios interiores en días típicos.

| Día | T (°C) promedio diaria exterior | T (°C) promedio diaria interior | | | Δt diaria interior = CT-CV | |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|-------------|
| | | CT | CV1 | CV2 | CT - CV1 | CT - CV2 |
| 1 | 24,77 | 26,31 | 24,15 | 24,03 | 2,15 | 2,28 |
| 2 | 25,63 | 28,15 | 26,37 | 26,16 | 1,78 | 1,99 |
| 3 | 25,70 | 26,39 | 24,57 | 24,57 | 1,82 | 1,82 |
| 4 | 26,47 | 28,23 | 26,69 | 26,71 | 1,53 | 1,52 |
| 5 | 27,58 | 29,63 | 28,11 | 28,13 | 1,52 | 1,51 |
| 6 | 26,77 | 28,43 | 26,75 | 26,77 | 1,68 | 1,65 |
| 7 | 27,75 | 29,48 | 28,11 | 28,02 | 1,38 | 1,47 |
| 8 | 26,81 | 29,34 | 28,42 | 28,20 | 0,92 | 1,14 |
| 9 | 23,13 | 24,54 | 23,37 | 23,30 | 1,17 | 1,24 |
| Promedio | 26,07 | 27,83 | 26,28 | 26,21 | 1,55 | 1,62 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Análisis hora-hora para el periodo de calentamiento y de enfriamiento

Con el fin de analizar comparativamente el comportamiento térmico y su consecuente ahorro energético en función de cada tratamiento y de la termofase del día, ya sea calentamiento o enfriamiento, se han realizado los cálculos correspondientes a los mismos.

La determinación del consumo energético derivado de la necesidad de enfriamiento o de calentamiento, se realiza mediante el cálculo de las diferencias de temperatura hora a hora para cada termofase (temperatura de confort 23 °C). Dichos valores fueron calculados para los 9 días de análisis. El cociente entre la sumatoria de diferencias de temperatura hora a hora para cada periodo permite definir los requerimientos de energía de CV1 y CV2 respecto al box testigo -CT- (Tabla 4).

Los resultados muestran que variaciones interiores de temperatura del orden de 1,25 °C generan ahorros de energía del 65% para CV1 en el periodo de calentamiento y variaciones de 1,76 °C generan ahorros de energía del 69% durante el enfriamiento (Tabla 4, Figura 6). En cambio para CV2, variaciones interiores de temperatura del orden de 1,08 °C generan ahorros de energía del 70% en el periodo de calentamiento y variaciones de 2,01 °C generan ahorros de energía del 65% durante el enfriamiento. De estos resultados se concluye que, aunque con pequeñas diferencias, el tratamiento CV1 demuestra ser más eficiente durante la noche y el tratamiento CV2 durante el día.

Tabla 4. Promedio de temperaturas horarias por termofase en días típicos de VERANO. Consumos energéticos relativos para CV1 y CV2.

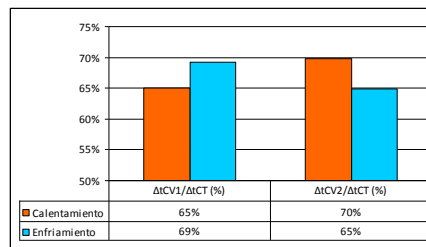
| | T (°C) exterior | T (°C) interior | | | Δt interior = CT-CV | | ΣΔtCT (°C) | ΣΔtCV1 (°C) | ΣΔtCV2 (°C) |
|----------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|---------------------|----------|------------|-------------|-------------|
| | | CT | CV1 | CV2 | CT - CV1 | CT - CV2 | | | |
| Calentamiento | 30,31 | 26,58 | 25,33 | 25,50 | 1,25 | 1,08 | 322,25 | 209,53 | 225,05 |
| Enfriamiento | 23,03 | 28,73 | 26,96 | 26,72 | 1,76 | 2,01 | 721,81 | 499,46 | 468,18 |
| | | | | | | | Σ 1044,06 | 708,99 | 693,23 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

El consumo energético, respecto al testigo (CT), muestra un consumo del 65% para el tratamiento CV1 y del 70% para CV2 para el periodo de calentamiento. En cambio, para el periodo de enfriamiento se puede observar –contrario al calentamiento- que el box CV1 (69%) presenta mayor eficiencia que el box CV2 (65%), lo que se debe a las características intrínsecas de cada especie vegetal (Figura 6). El consumo energético diferencial por especie y por periodo podría explicarse por lo siguiente: el hábito rastrero y compacto de la especie *Aptenia cordifolia* utilizada en CV1 podría

permitir la llegada de mayor cantidad de flujo radiativo solar que *Sedum spectabile* en CV2, y permitiendo una mayor transferencia térmica por conducción, menor eficiencia de día (mayor ganancia) como de noche (mayor capacidad de enfriamiento) respecto a *Sedum spectabile* que presenta hábito arbustivo y una condición abierta. Su morfología posibilitaría menor ganancia diurna por sombreado de la cubierta y menor intercambio radiativo y convectivo hacia la bóveda celeste debido a su porte arbustivo, dificultando el enfriamiento nocturno.

Figura 6. Consumo energético (%) de CV1 y CV2 relativo a CT en VERANO



Fuente: Figura realizada por el autor.

3.2. Invierno: En los tres tratamientos, la temperatura promedio diaria interior para los 12 días de análisis alcanza valores de 7,05 °C en CT, 7,11 °C en CV1 y 6,77 °C en CV2. En todos los casos, dichas temperaturas se encuentran por debajo de la temperatura de confort para la estación -18 °C- (Tabla 5). Los box CV1 y CV2 respecto al testigo presentan diferencias mínimas entre temperaturas medias del orden de 0,06 °C y 0,28 °C, respectivamente. Lo que indica que ambas cubiertas vegetadas presentan temperaturas medias similares a las del box CT. La variación leve de la temperatura media entre CV1 y CV2 se explica por las diferencias intrínsecas a las especies vegetales utilizadas.

Tabla 5: Impacto de las temperaturas exteriores en los espacios interiores en días típicos.

| Día | T (°C) promedio diaria exterior | T (°C) promedio diaria interior | | | Δt diaria interior = CT-CV | |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| | | CT | CV1 | CV2 | CT - CV1 | CT - CV2 |
| 1 | 4,98 | 3,88 | 4,50 | 4,22 | -0,61 | -0,33 |
| 2 | 6,69 | 5,68 | 5,62 | 5,30 | 0,06 | 0,37 |
| 3 | 6,99 | 6,17 | 6,34 | 6,00 | -0,17 | 0,17 |
| 4 | 10,18 | 8,37 | 7,94 | 7,52 | 0,43 | 0,84 |
| 5 | 9,76 | 8,90 | 8,86 | 8,45 | 0,04 | 0,45 |
| 6 | 9,30 | 8,90 | 9,46 | 9,02 | -0,57 | -0,12 |
| 7 | 11,02 | 9,15 | 9,35 | 8,93 | -0,20 | 0,22 |
| 8 | 7,93 | 4,96 | 4,93 | 4,68 | 0,03 | 0,28 |
| 9 | 9,95 | 7,45 | 7,00 | 6,84 | 0,45 | 0,61 |
| Promedio | 8,53 | 7,05 | 7,11 | 6,77 | -0,06 | 0,28 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Análisis hora-hora para el periodo de calentamiento y de enfriamiento

Los consumos energéticos han sido determinados con el mismo criterio que para la estación de verano. En este caso se asume una temperatura de confort 18 °C. Dichos valores fueron calculados para los 12 días de análisis. El cociente entre la sumatoria de diferencias de temperatura hora a hora permite definir los requerimientos de energía de CV1 y CV2 respecto al box testigo -CT- (Tabla 6). Los resultados muestran leves diferencias de temperatura entre CV1 y CV2 en relación al testigo, para el calentamiento y el enfriamiento de - 0,25 y 0,36; respectivamente- (Tabla 6).

Tabla 6. Promedio de temperaturas horarias por termofase en días típicos de INVIERNO. Consumos energéticos relativos para CV1 y CV2.

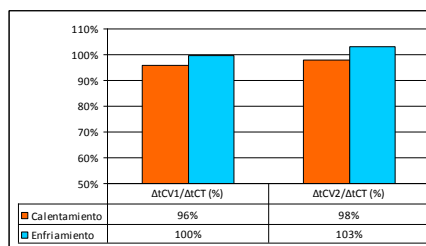
| | T (°C) exterior | T (°C) interior | | | Δt interior = CT-CV | | ΣΔtCT (°C) | ΣΔtCV1 (°C) | ΣΔtCV2 (°C) | |
|---------------|-----------------|-----------------|------|------|---------------------|----------|------------|-------------|-------------|---------|
| | | CT | CV1 | CV2 | CT - CV1 | CT - CV2 | | | | |
| Calentamiento | 13,77 | 5,97 | 6,47 | 6,22 | -0,51 | -0,25 | 1167,28 | 1117,93 | 1142,64 | |
| Enfriamiento | 5,74 | 7,53 | 7,58 | 7,22 | -0,04 | 0,31 | 1999,15 | 1990,64 | 2058,67 | |
| | | | | | | | Σ | 3166,43 | 3108,57 | 3201,31 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

El consumo energético, respecto al testigo (CT), muestra un consumo del 96% para el tratamiento CV1 y del 98% para CV2 para el periodo de calentamiento. Para el periodo de enfriamiento -al igual que en el periodo de calentamiento- se puede observar que el box CV1 (100%) presenta menor eficiencia que el box CV2 (103%). El consumo energético diferencial por especie y por periodo podría explicarse -como se mencionó en la estación de verano- por la arquitectura de ambas especies en las cubiertas vegetadas. El tratamiento CV1, vegetado con *Aptenia cordifolia*, permite la penetración de un flujo de calor hacia el interior, logrando mayor eficiencia de día que CV2 y no demuestra un comportamiento diferencial al tratamiento testigo durante la noche (periodo de enfriamiento), por lo cual su beneficio se registraría sólo durante el día. En cambio para CV2 se observa un ahorro energético menor a CV1 durante ambas termofases y durante la noche un consumo energético superior al del box CT (Figura 7). El comportamiento termo-energético de CV2 se explicaría por las características de la especie *Sedum spectabile*, la cual presenta su etapa de mayor crecimiento y desarrollo en primavera-verano y una etapa de senescencia y muerte de la parte aérea o dosel en otoño-invierno. La escasa cobertura -19,70 %- de esta especie en la estación invernal deja de manifiesto que al disponer la cubierta de mayor cantidad de suelo desnudo permitiría mayor intercambio radiativo y convectivo hacia la bóveda celeste, facilitando el enfriamiento nocturno y por ende, enfriando el interior aún más que una cubierta vegetada con mayor cobertura -CV1-.

El consumo energético de CV2 muestra un comportamiento conservativo debido al rol como aislante térmico de la cubierta vegetada durante la termofase de calentamiento en comparación al box testigo con un ahorro de energía de un 2%. Pero durante la noche -termofase de enfriamiento- el consumo energético de CV2 es superior en 3% al box CT. Esto último podría deberse a un balance térmico desfavorable para el comportamiento conservativo en el periodo de enfriamiento debido a la ausencia de la protección que lograría una mayor cobertura vegetal y a la mayor masa térmica – respecto al box CT- aportada principalmente por el sustrato que funcionaría como enfriador del espacio interior contrarrestando el beneficio del periodo de calentamiento.

Figura 7. Consumo energético (%) de CV1 y CV2 relativo a CT en INVIERNO



Fuente: Figura realizada por el autor.

Conclusiones

De los resultados obtenidos mediante ensayos experimentales se puede concluir que en la estación de verano, el uso de cubiertas vegetadas permite amortiguar las temperaturas en espacios interiores, con un consecuente ahorro energético. Las cubiertas vegetadas disminuyen la amplitud térmica interior alrededor de 7 °C y la temperatura máxima alrededor de 5 °C. Además, la temperatura media interior fue de 1,5 °C menor respecto a un techo tradicional sin vegetar. La disminución de la temperatura en espacios interiores contribuye a optimizar los consumos de energía. Diferencias en la temperatura interior del orden de 1,5-1,6 °C generan ahorros de energía para refrigeración del 30% al 35%. El ahorro es función de la termofase del día -calentamiento o enfriamiento- y de la especie vegetal que se utilice en la cubierta. Las termofases han sido analizadas en este trabajo en función de diferencias de temperatura, no en términos de la contribución relativa de cada uno de los mecanismos de transferencia de calor a la producción de tal efecto. En etapas futuras se pretende discernir el aporte de cada mecanismo de transferencia de calor al efecto global aquí presentado.

La cubierta vegetada con *Aptenia cordifolia* demostró mejorar el confort térmico interior disminuyendo las temperaturas máximas y medias respecto a una cubierta tradicional. El aporte al confort térmico producto de esta cubierta vegetada -*Aptenia cordifolia*- se traduce en un ahorro energético del 35% de la energía que se debería destinar a refrigeración en el periodo de calentamiento y del 31% en el periodo de enfriamiento. Vegetar la cubierta con la especie *Sedum spectabile* permite un menor ahorro de energía durante el enfriamiento -30%- que con *Aptenia cordifolia*, si bien produce un significativo ahorro respecto a la cubierta tradicional sin vegetar. En cambio, en el periodo de enfriamiento, *Sedum spectabile*, presenta mejor comportamiento termo-energético que *Aptenia cordifolia*, logrando un ahorro del 35%. Estos resultados muestran la importancia de la selección de especies con el fin de optimizar el comportamiento termo-energético, según el uso, diseño y materialidad de la edificación a intervenir.

En la estación de invierno los beneficios son menores a los del verano y el comportamiento termo-energético depende de la especie utilizada. Con cubiertas vegetadas hubo una disminución de 8 °C en la amplitud térmica y un aumento de la temperatura mínima interior de al menos 2 °C. La temperatura media interior es similar en esta estación en los tres box de ensayo, ya sea con o sin cubierta vegetada. La cubierta vegetada con *Aptenia cordifolia* presenta mayor ahorro energético para calefacción -4%- en el periodo de calentamiento, pero en el periodo de enfriamiento se comporta -en términos energéticos- del mismo modo que una cubierta tradicional sin vegetar. El comportamiento térmico de la cubierta vegetada con *Sedum spectabile* logra un ahorro de energía para calefacción en el periodo de calentamiento de 2% pero en el periodo de enfriamiento consume en su interior un 3% más que un espacio con cubierta tradicional. Lo cual, al igual que en verano, resalta la importancia del diseño de la tecnología con el fin de optimizar el comportamiento interior.

A nivel internacional se encuentran numerosos trabajos científicos de comportamiento térmico y energético de cubiertas vegetadas principalmente para zonas en las que no es necesario realizar aportes artificiales de agua. El aporte de este trabajo se circunscribe al contexto árido y las dificultades de seleccionar adecuadamente las especies a utilizar con su consecuente efecto termo-energético. El efecto estacional puede ser diferente con la misma especie, lo que valoriza el estudio local de diferentes especies y combinaciones de las mismas en distintas épocas del año.

Bibliografía

- Alchapar, N. y Correa E. (2013). Modificación de la reflectancia solar en la envolvente edilicia y su impacto sobre las temperaturas interiores. *Revista AVERMA*. Vol. 1, pp. 05. 69-05.78, 2013.
- Alexandri, E., Jones, P. (2006). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roof in diverse climates. *Science Direct – Elsevier Ltd*
- Cárdenas, G. J. (2011). Matriz energética argentina. Situación actual y posibilidades de diversificación. *Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario*. 32-36. <http://www.eeaoc.org.ar/upload/contenido/pdf/20120228122933000000.pdf>
- Dunnett, N.; Kingsbury, N. (2004). *Planting Green Roofs and Living Walls*. Timber Press Inc, Oregon.
- Erbs D.G. (1987). Degree Day for Variable Base Temperatures. *Proceedings of International Solar Energy Society (ISES)*. Vol. N° 6, pp. 387-391. Ed. J. Hages and W. Kollar.
- Flores Asin, J. E., Martinez, C. F.; Cantón, M. A. (2013). Tecnologías verdes. Potencial de aplicación en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM). *Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 1, pp. 05.115-05.120, 2013. ISBN 978-987-29873-0-5
- Flores Asin, J. E., Martinez, C. F.; Cantón, M. A. y Correa E. N. (2015). Impacto de cubiertas vegetadas en el ahorro energético del parque edilicio del área metropolitana de Mendoza (AMM). *Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 3, pp. 05.81-05.89, 2015. ISBN 978-987-29873-0-5
- La Roche, P. (2009). Low Cost Green Roofs for Cooling: Experimental series in a hot and dry climate. *PLEA 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Quebec, Canada 22-24 June 2009.
- Pincetl, S. (2012). Nature, Urban Development and Sustainability – What New Elements are Needed for a More Comprehensive Understanding? *Cities: Current Research on Cities*, 29:S32-S37
- Qiu G., Li H., Zhang Q., Chen W., Liang X. y Li X. (2013). Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, nº 12, pp. 1307-1315.
- Rosenfeld E., San Juan G, Discoli C, Martini I, Ferreyro C, Barbero D. (2007) Ahorro de energía en el sector residencial. Su contribución a la disminución de gases de efecto invernadero (GEI). *Revista AVERMA*. Vol. 11: 07.31-07.38.
- Teemusk A, Mander U. (2010). Temperature regime of planted roofs compared with conventional roofing systems. *Ecol Eng* 2010; 36:91-105.
- Wonga, N. H.; Tan A. Y.; Tan, P. Y; Wongc, N.C. (2009). Energy Simulation of Vertical Greenery Systems. *Energy and Buildings*, Lausanne, v.41, n,12, p.1401-1408.

Autores

J. Emiliano Flores Asin es Ingeniero Agrónomo y becario doctoral ANPCyT. **Claudia F. Martinez** es Ingeniera Agrónoma, Doctora en Ciencias Biológicas e Investigadora Adjunta de CONICET. **M. Alicia Cantón** es Arquitecta, DAE en Arquitectura, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en FAUD-Universidad de Mendoza. **Erica N. Correa** es Ingeniera Química, Doctora en Ciencias - Área Energías Renovables, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en UTN-FRM.

Impacto de los Inputs de Marcos de Ventanas en EnergyPlus en la Estimación de Eficiencia Energética de Edificios

Maureen de Gastines¹, Andrea Pattini²

Resumen

El diseño de edificios sustentables hace uso de herramientas de simulación energética como EnergyPlus. Un elemento clave en la eficiencia energética es la ventana, y particularmente el marco, debido a su transmitancia térmica generalmente elevada en relación a los elementos que componen la envolvente edilicia. Además, el diseño de marco reduce la superficie vidriada, disminuyendo el recurso solar aprovechable por ganancia directa. Por lo tanto, cuando se realice una simulación en EnergyPlus, resulta fundamental la adecuada definición del diseño de ventanas a través de los elementos de entrada (inputs). Este trabajo analiza las distintas opciones posibles para la modelización de los marcos de ventanas en EnergyPlus, y los compara entre sí mediante simulación. Los resultados evidencian la elevada sensibilidad de los datos de salida (outputs) frente a la falta de precisión posible en la carga de inputs de marco, resaltando los riesgos de impericia por parte de los profesionales proyectistas.

Palabras clave: marcos de ventana, EnergyPlus, simulación energética.

Impact of Window Frames Inputs in EnergyPlus on the Estimation of Building Energy Efficiency

Abstract

The design of sustainable buildings makes use of energy simulation tools like EnergyPlus. A key element in energy efficiency is the window, and more specifically the window frame, since it generally has a higher thermal transmittance than the other building envelop components. Moreover, the frame reduces the glazing area, decreasing the solar gain. Therefore, when carrying out a simulation in EnergyPlus, it is essential to specify the design of window frames through the correct definition of inputs. In this paper, the different possible options for the modeling of window

¹ y ² Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV). Avenida Ruiz Leal s/n, 5500 Mendoza, Argentina. Tel/fax: +54-261-524-4345. e-mail: mdegastines@mendoza-conicet.gob.ar

frames in EnergyPlus are analyzed, then compared with each other through simulations. The results show that the outputs are very sensitive to the inputs lack of accuracy, which highlights the necessity for building designer professionals to be cautious about those aspects in order to obtain reliable simulation results.

Keywords: window frame, EnergyPlus, energy simulation.

Introducción

Las ventanas son elementos clave en la eficiencia energética de los edificios, debido a que a través de ellas ocurren múltiples intercambios lumínicos y energéticos. En particular, el marco juega un papel significativo en el balance energético asociado a las ventanas, debido a su transmitancia térmica generalmente elevada en relación a los elementos que componen la envolvente edilicia. Además, el diseño de marco reduce la superficie vidriada, disminuyendo el recurso solar aprovechable por ganancia directa.

EnergyPlus es un programa de simulación energética de edificios, que funciona en régimen dinámico y constituye una herramienta ampliamente usada para el análisis energético y diseño de edificios sustentables. El usuario carga los datos de entrada (inputs) del proyecto bajo estudio, y define un archivo climático para luego correr la simulación y obtener la información deseada a través de los datos de salida (outputs). El modelado de edificios implica simplificaciones en la descripción morfológica de los espacios y elementos constituyentes, pero las mismas no deben impactar negativamente sobre la precisión de los outputs. Asimismo, el programa ofrece distintas opciones de modelado para un mismo elemento de la envolvente.

En el caso de las ventanas, un panorama general de las opciones de modelado asociadas a la superficie vidriada en EnergyPlus está dado por Winkelmann (2001). Se distinguen dos posibilidades de modelización de los vidriados, uno usa los datos espectrales completos (Full Spectral Model) y el otro los datos espectrales promediados para cada capa vidriada (Spectral Average Model). Arasteh et al. (2009) desarrollaron luego un modelo simplificado llamado Simple Window Model, el cual permite simular los impactos energéticos de las ventanas a partir de los índices térmicos de las mismas (Factor K, Factor solar, Transmitancia visible). El impacto de los inputs relacionados con la parte vidriada de las ventanas fue analizado por Lyons et al. (2010), quienes compararon los tres modelos anteriormente nombrados: el Simple Window Model propuesto por Arasteh et al. versus la modelización más explícita de la ventana (Full Spectral Model y Spectral Average Model). Si bien el modelo simplificado no es tan preciso como el Full Spectral Model, demuestra dar mejores resultados que el Spectral Average Model. Los autores observan que en el caso del simple vidriado el modelo simplificado predice un 6% más de cargas térmicas aproximadamente que el Full Spectral Model. En el caso del DVH, predice entre un 8% menos y un 2% más cargas aproximadamente. Por lo tanto se puede decir que para el uso de SV y DVH clear float, el modelo simplificado constituye una aproximación válida en cuanto al vidriado. Sin embargo, Lam et al. (2014) realizaron la comparación de 6 modelizaciones distintas del vidriado (las 3 anteriores, el método que utiliza datos generados por el programa WINDOW, el método BSDF - Bi-directional Scattering Distribution Functions Method - y el método REM - Refraction Extinction Method) aplicadas a 15 vidriados (sin marco) y llegaron a conclusiones contrarias. Observan que el método Spectral Average Model da resultados muy parecidos al Full Spectral Model (recomendado por EnergyPlus), mientras que el método Simple Window Model tiende a sobreestimar las cargas de refrigeración.

Muchas veces por razones de simplificación los proyectistas simulan las aberturas sin el marco. (Balter et al., 2012; Barea, 2011). Sin embargo, la contribución del marco al balance energético de la ventana no se puede despreciar, debido a que suelen tener una transmitancia térmica muy alta (por lo menos en Argentina), y que los marcos ocupan un porcentaje importante de la superficie de la ventana – del orden del 30% (de Gastines et al., 2015) lo cual limita la ganancia solar directa.

Los marcos pueden tener geometrías complejas, por lo tanto se necesitan herramientas de simulación por el método de los elementos finitos para determinar sus índices térmicos. EnergyPlus no permite realizar este cálculo, y los valores de transmitancia térmica (K) indicados en IRAM 11507-4 no diferencian los distintos diseños y tipologías de marcos. Tampoco se dispone de los valores de factor solar (FS), ya que aunque este valor puede ser obtenido fácilmente para el vidriado, hay que tomar en cuenta la contribución del marco al FS de la ventana completa. Por lo tanto es importante caracterizar correctamente el comportamiento térmico de los marcos por otro medio, además de sus características dimensionales, para que EnergyPlus pueda tomar en cuenta la geometría proyectante, la conductancia a veces muy elevada, además de la reducción de la superficie vidriada propia a cada marco.

Los objetivos específicos del presente trabajo son los siguientes:

- 1- Analizar las distintas opciones posibles e inputs asociados para la modelización de los marcos de ventanas en EnergyPlus.
- 2- Caracterizar los índices térmicos (K y FS) de dos modelos de ventanas típicas del país.
- 3- Cuantificar el impacto de las distintas opciones de inputs de marco analizadas sobre la estimación de eficiencia energética de una vivienda.

Metodología

Se comparan las distintas opciones posibles para la modelización de los marcos de ventanas en EnergyPlus mediante la simulación de una vivienda simplificada con ventanas corredizas de aluminio sin ruptura de puente térmico.

Modelización de la vivienda de estudio

Se definió una vivienda simplificada con el objetivo de analizar los impactos de los inputs de marcos sobre las cargas térmicas de dicha vivienda. La misma se compone de una planta rectangular de 8 x 12 m, sin muros interiores, con paredes de ladrillo común aislado con poliestireno expandido y revocado, piso de hormigón con revestimiento de madera y techo de hormigón aislado y cubierto con baldosas. Los datos de los distintos materiales empleados se muestran en la tabla 1 (Alchapar et al., 2012; Balter et al., 2012; Monroy, 1995).

En cuanto a las aberturas, se seleccionó una tipología de ventanas de uso frecuente en el país: corrediza de aluminio, de dimensiones 1,50 x 1,10 m. Se estudiaron dos tipos de vidriados: simple vidrio (SV) claro de 3mm, y doble vidriado hermético (DVH) compuesto por dos vidrios claros de 4mm separados por una capa de aire de 9mm. Se ubicó mayor superficie vidriada al norte para considerar un caso de vivienda que aprovechara la máxima ganancia de calor directa que provee esta orientación durante el invierno: tres ventanas al norte (37,5% de la superficie total de aberturas), dos al oeste y al este (25%) y una al sur (12,5%).

Tabla 1. Composición de los elementos constructivos y propiedades térmicas de los materiales

| Elementos constructivos | Rugosidad | Espesor | Conductividad | Densidad | Calor especif. | Absort. térmica | Absor. solar |
|------------------------------------|-----------|---------|---------------|-------------------|----------------|-----------------|--------------|
| | - | m | W/mK | kg/m ³ | J/kgK | - | - |
| Paredes verticales | | | | | | | |
| Revoque | Muy rug. | 0,03 | 0,9 | 1900 | 1000 | 0,9 | 0,3 |
| EPS | | 0,03 | 0 | 15 | 1420 | | |
| Ladrillo | | 0,18 | 0,7 | 1700 | 800 | | |
| Revoque | Muy rug. | 0,03 | 0,9 | 1900 | 1000 | 0,9 | 0,3 |
| Piso | | | | | | | |
| Tierra | Rugoso | 1 | 1,8 | 1800 | 920 | 0,88 | 0,7 |
| Losa H ^o A ^o | | 0,12 | 1,6 | 2400 | 805 | | |
| Piso madera | Suave | 0,03 | 0,2 | 500 | 2800 | 0,6 | 0,9 |
| Techo | | | | | | | |
| Baldosa | Rugoso | 0,01 | 1,2 | 2100 | 780 | 0,95 | 0,87 |
| EPS | | 0,03 | 0 | 15 | 1420 | | |
| Losa H ^o A ^o | | 0,12 | 1,6 | 2400 | 805 | | |
| Estuco yeso | Suave | 0,03 | 0,5 | 741 | 836 | 0,9 | 0,2 |

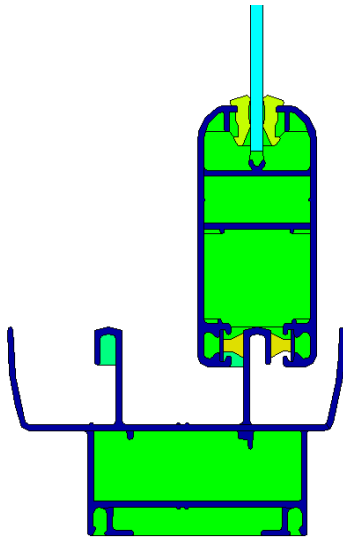
Fuente: Tabla realizada por el autor

Índices térmicos de las ventanas

WINDOW 6.3 y THERM 6.3 son dos software del Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) que permiten simular con precisión las ventanas y particularmente los marcos a través del método de los elementos finitos. Se simulan las ventanas de acuerdo al procedimiento NFRC (NFRC 100-2004), basado en la norma ISO 15099 (ISO 15099:2003). Si bien las condiciones de borde estipuladas por la NFRC no son parecidas a las condiciones típicas de temperatura y velocidad de viento que pueden ocurrir en Argentina, impactando negativamente en el valor de transmitancia térmica resultante (de Gastines et al., 2014), el programa EnergyPlus utiliza los valores así calculados para evaluar la conductancia del marco y así estimar el balance energético a través del marco en cada iteración en función de las condiciones climáticas.

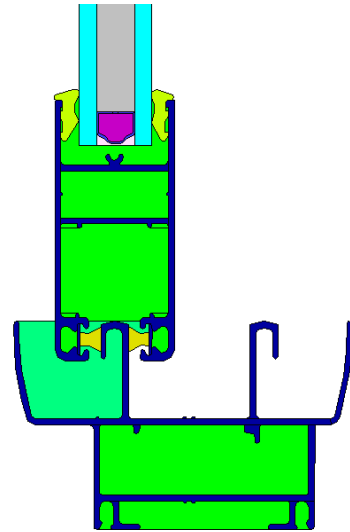
Las figuras 1a y 1b muestran los dibujos en THERM de la sección del umbral de la carpintería seleccionada para el estudio, por un lado con hoja interna y simple vidriado, y por otro caso con hoja externa, en el caso del doble vidriado hermético. Las cavidades internas y parcialmente ventiladas están representadas en verde. La transmitancia térmica de la ventana completa se calcula como el promedio ponderado de los factores K asociados al centro del vidrio, al borde del vidriado y al marco, por sus áreas respectivas. En cuanto al factor solar, se indicó el valor de FSv y el valor asociado a la ventana completa arrojado por el programa WINDOW. Los índices térmicos K y FS obtenidos para estas carpinterías se muestran en la Tabla 2.

Figura 1a. Sección del umbral con SV y hoja interna



Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 1b. Sección del umbral con DVH y hoja externa.



Fuente: Figura realizada por el autor.

Tabla 2. Índices térmicos de las ventanas, en el caso a) con SV y b) con DVH.

| Índice | Símbolo | SV claro 3mm | DVH claro 4/9/4 |
|---|-----------|--------------|-----------------|
| Transmitancia térmica del centro del vidriado | Kv | 5,92 | 3,23 |
| Factor Solar del vidriado | FSv | 0,86 | 0,75 |
| Transmitancia térmica del marco | Km | 9,96 | 9,94 |
| Transmitancia térmica del borde del vidriado | Kb | 5,60 | 3,34 |
| Área transparente | Av | 1,10 | 1,10 |
| Área del marco | Am | 0,55 | 0,55 |
| Transmitancia térmica de la ventana | K | 7,21 | 5,51 |
| Factor Solar de la ventana | FS | 0,60 | 0,53 |

Fuente: Tabla realizada por el autor

Datos climáticos

Se realizaron las simulaciones en EnergyPlus de las cargas térmicas de la vivienda de estudio para seis ciudades de Argentina de climas diferentes: Buenos Aires, Córdoba, Mendoza, Salta, Resistencia y Comodoro Rivadavia. Se usaron archivos climáticos TMY ("Typical Meteorological Year") de Weather Analytics.

Comparación de las cargas térmicas para 4 opciones de modelización:

1) Modelado sin marco

En este caso se simuló la ventana solamente con el vidriado. Se utilizó el modelo Full Spectral Data (a partir de la base de datos de vidrios de Optics). Las figuras 2a y 2b muestran los datos espectrales de los vidrios claros de 3mm y de 4mm.

Figura 2a. Datos espectrales del vidrio claro de 3mm.

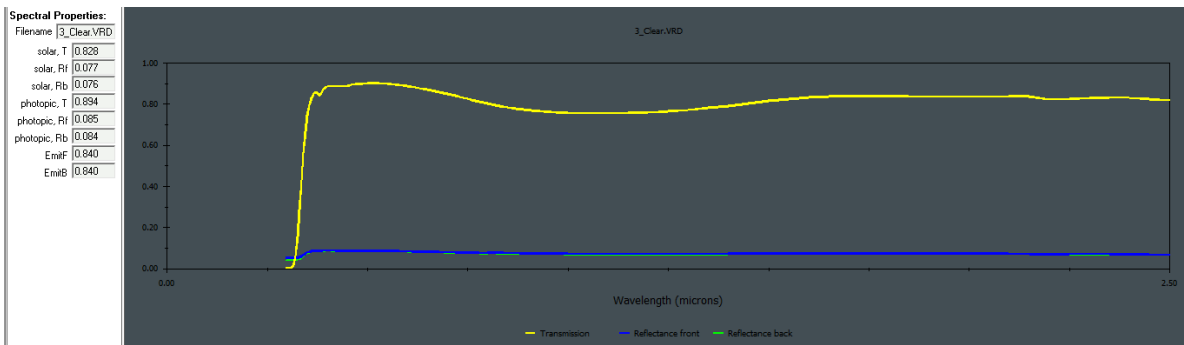
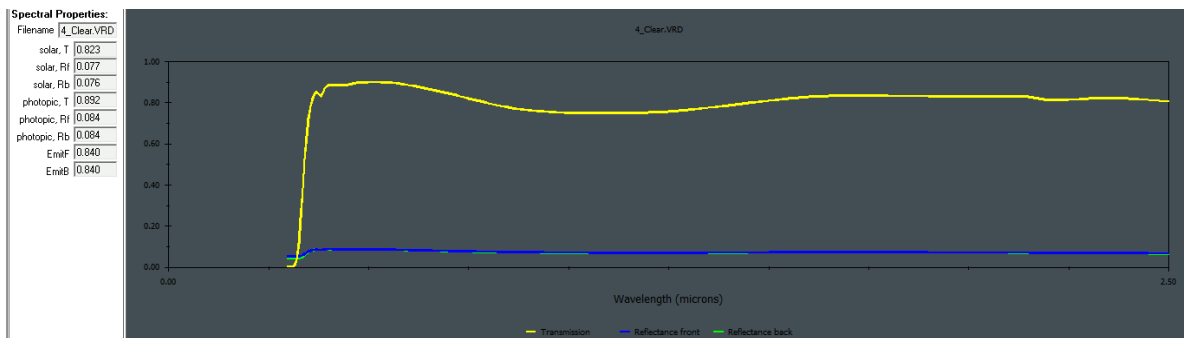


Figura 2b. Datos espectrales del vidrio claro de 4mm.



Fuente: Biblioteca Optics6

2) Modelado con área vidriada reducida

En este caso se simula la ventana sin marco, pero con dimensiones reducidas (es decir, considerando el área real del vidrio) para tener en cuenta la disminución de la ganancia solar debida a la presencia del marco. De esta manera, se puede analizar el efecto del marco sobre las cargas térmicas del edificio.

3) Modelo simplificado de ventana

Este modelo de acuerdo a Arasteh et al. (2009) puede aplicarse a vidriados sin marco, o al conjunto vidriado/marco asimilado a una capa equivalente sin marco (entrando los valores de K y FS de la ventana completa). Es útil cuando solo se conocen los índices térmicos de la ventana, sin disponer de suficiente información para describir el marco más detalladamente. A partir de los índices térmicos calculados en WINDOW y THERM, se crea un objeto ventana ("Simple Glazing System") con los valores de K y FS encontrados. El modelo no acepta valores de transmitancia térmica superiores a $7 \text{ W/m}^2\text{K}$, por lo tanto se ingresa este valor en vez del K calculado para la ventana con simple vidrio.

4) Modelo detallado: cargando datos de marco desde WINDOW/THERM

Es posible importar a EnergyPlus los índices térmicos previamente calculados mediante los simuladores WINDOW y THERM, para un modelado más preciso de las aberturas. En este caso se crea un objeto "Frame and divider" en el cual se indican el ancho del marco, las proyecciones interior y exterior del mismo, el valor de conductancia térmica (es decir el coeficiente de pérdidas sin los coeficientes peliculares), la proporción entre los valores de conductancia del borde del vidrio y del centro del vidrio, y datos de absorción y emisividad del marco. En el caso de ventanas con divisores

(por ejemplo en el caso de un vidrio repartido) se deben ingresar también los mismos datos para ellos.

La figura 3 muestra los inputs obtenidos de la simulación en WINDOW y THERM de la ventana estudiada. (Sección WindowProperty: FrameAndDivider). Se consideró la sección de encuentro del marco corredizo como un divisor, para tomar en cuenta la superficie opaca correspondiente así como el efecto de sombreado resultante.

Figura 3. Inputs para la carga de datos de entrada del marco.

| Field | Units | Obj1 |
|---|--------|-------------|
| Name | | Marco |
| Frame Width | m | 0.103 |
| Frame Outside Projection | m | 0.038 |
| Frame Inside Projection | m | 0.038 |
| Frame Conductance | W/m2-K | 500 |
| Ratio of Frame-Edge Glass Conductance to Center-Of-G | | 1 |
| Frame Solar Absorptance | | 0.7 |
| Frame Visible Absorptance | | 0.9 |
| Frame Thermal Hemispherical Emissivity | | 0.9 |
| Divider Type | | DividedLite |
| Divider Width | m | 0.08 |
| Number of Horizontal Dividers | | 0 |
| Number of Vertical Dividers | | 1 |
| Divider Outside Projection | m | 0.013 |
| Divider Inside Projection | m | 0.013 |
| Divider Conductance | W/m2-K | 500 |
| Ratio of Divider-Edge Glass Conductance to Center-Of- | | 1 |
| Divider Solar Absorptance | | 0.7 |
| Divider Visible Absorptance | | 0.9 |
| Divider Thermal Hemispherical Emissivity | | 0.9 |

| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 |
|-----------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|
| Name | | NORTH WI 3 | NORTH WI 1 | WEST WI 2 |
| Surface Type | | Window | Window | Window |
| Construction Name | | VENTANA SV 3mm | VENTANA SV 3mm | VENTANA SV 3mm |
| Building Surface Name | | SURFACE NORTH | SURFACE NORTH | SURFACE WEST |
| Outside Boundary Condition Object | | | | |
| View Factor to Ground | | autocalculate | autocalculate | autocalculate |
| Shading Control Name | | | | |
| Frame and Divider Name | | Marco | Marco | Marco |
| Multiplier | | 1 | 1 | 1 |
| Number of Vertices | | 4 | 4 | 4 |
| Vertex 1 X-coordinate | m | 2.75 | 7.75 | 0 |
| Vertex 1 Y-coordinate | m | 8 | 8 | 5.5 |

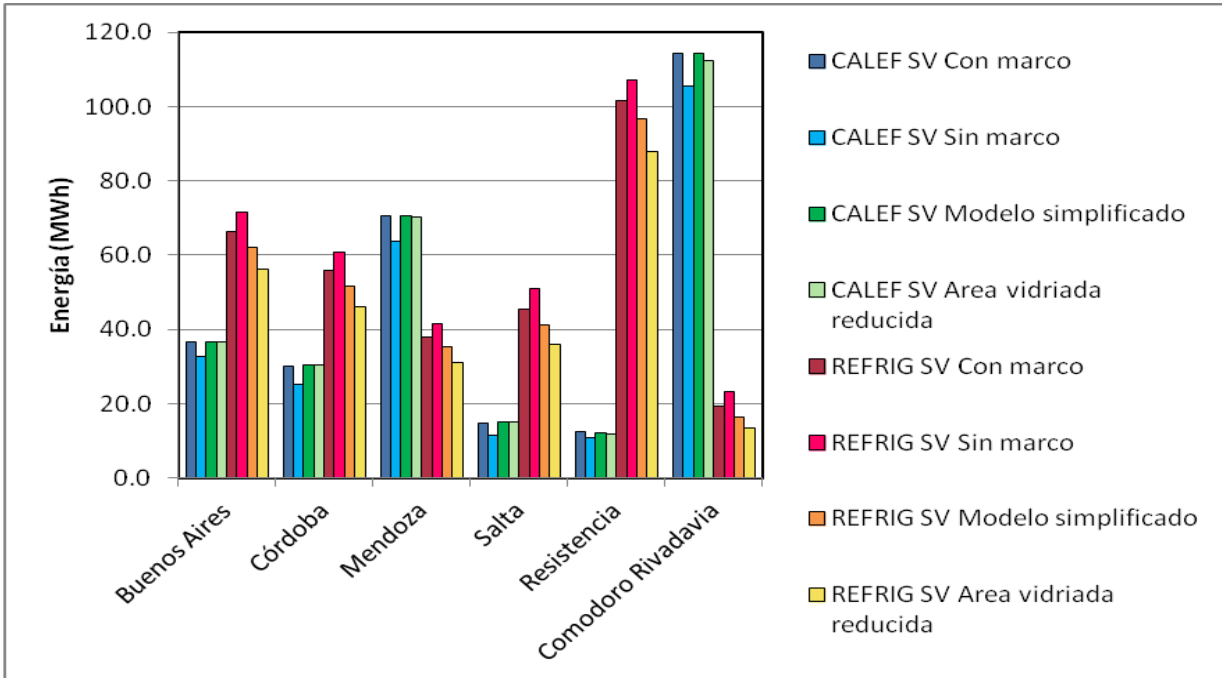
Fuente: Figura realizada por el autor

Resultados

En la figura 4 están graficadas las demandas de energía para calefacción y refrigeración en los cuatro casos estudiados, para simple vidriado. Estas varían según la localidad entre 10,8 y 114,5 kWh/m² para calefacción y entre 13,4 y 107,1 kWh/m² para refrigeración. La figura 5 indica las diferencias porcentuales obtenidas respecto del caso con marcos. Se observa que para todas las ciudades consideradas, la simulación sin marcos conduce a una reducción de las cargas de calefacción (-8% a -22%) y un aumento de las cargas de refrigeración obtenidas (5% a 20%). En cuanto al modelo simplificado y al modelo con área vidriada reducida, se observa una buena adecuación con el modelado más detallado (con marco) para la demanda de calefacción (menos de 2,5% de diferencia).

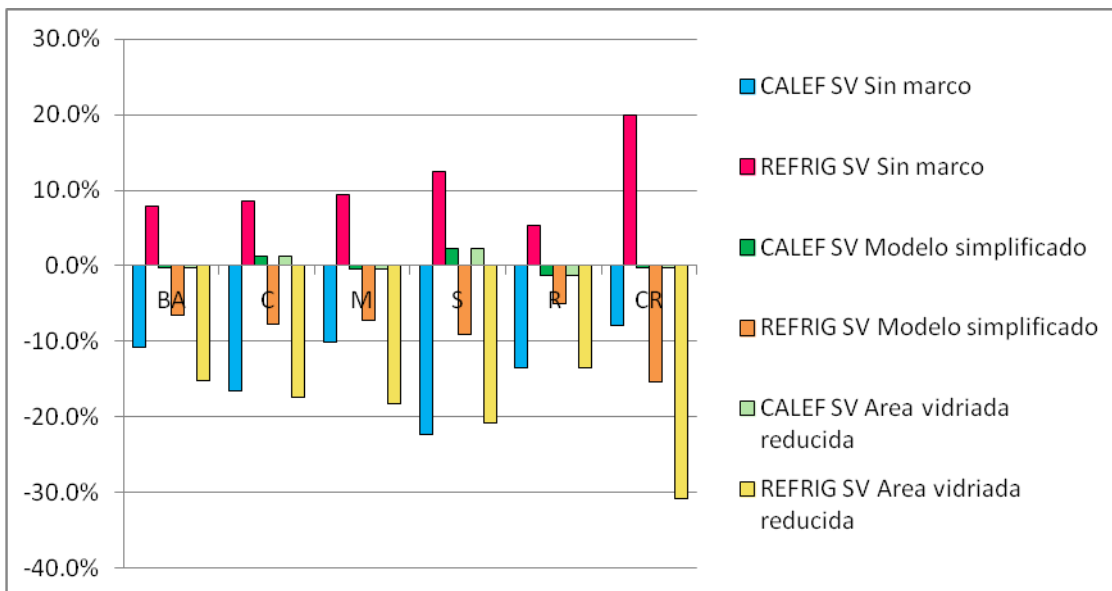
Sin embargo ambos modelos subestiman las cargas de refrigeración respecto de los resultados obtenidos a través del modelado con marcos (-5% a -15% para el modelo simplificado, -13% a -31% para el modelo con área vidriada reducida).

Figura 4. Demandas de energía (caso SV).



Fuente: Figura realizada por el autor

Figura 5. Diferencias porcentuales respecto del modelo detallado (caso SV).



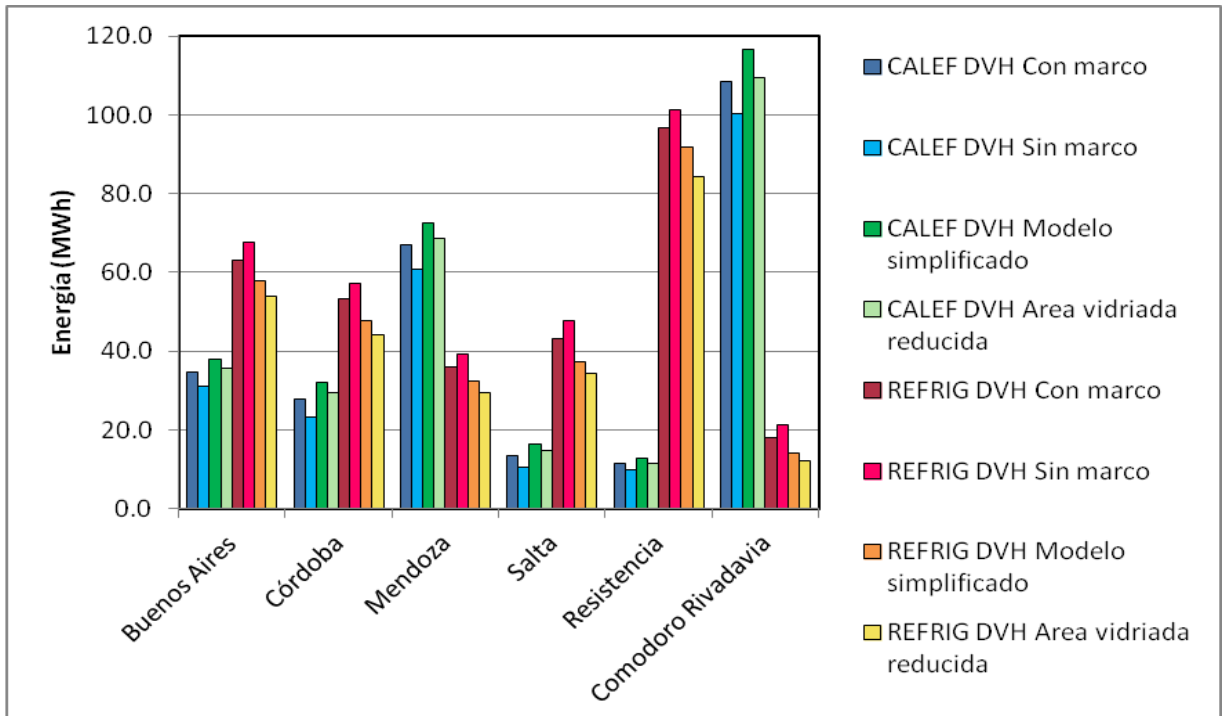
Fuente: Figura realizada por el autor

Observando ahora los resultados obtenidos considerando la utilización del Doble Vidriado Hermético (figuras 6 y 7), se constata que las demandas varían entre 9,9 y 116,5 kWh/m² para calefacción y

entre 12,3 y 101,2 kWh/m² para refrigeración. Al igual que el caso con simple vidriado, la simulación sin marcos conduce a una reducción de las cargas de calefacción (-8% a -22%) y un aumento de las cargas de refrigeración obtenidas (5% a 19%). En cuanto al modelo simplificado, se observa una sobreestimación de la demanda de calefacción (7% a 23%) y una subestimación de las cargas de refrigeración (-5% a -22%) con respecto a los resultados obtenidos a través del modelado con marcos. Finalmente, el modelo con área vidriada reducida presenta una relativamente buena adecuación con respecto a las cargas térmicas de calefacción (menos de 6%, excepto para Salta) pero subestima de manera importante las cargas térmicas de refrigeración (-13% a -32% de diferencia).

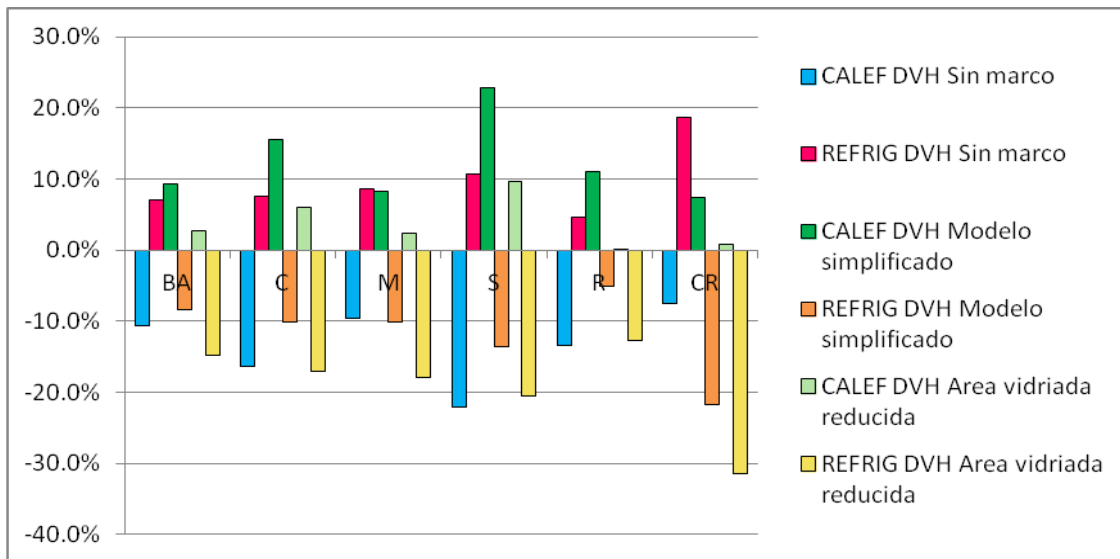
De los resultados previamente expuestos, se destaca que para todas las localidades seleccionadas, los cuatro métodos de modelado de las ventanas bajo estudio producen diferencias significativas en las demandas de calefacción y refrigeración obtenidas. En el caso del método simplificado, se debe a que la información cargada en los inputs es global a nivel de la ventana, por lo tanto el programa no puede adivinar adecuadamente cuáles son el área vidriada y las propiedades térmicas de cada parte de la ventana. En el caso del método sin marco, al sobreestimar la superficie transparente aumenta la ganancia solar y por lo tanto crece la demanda de refrigeración y disminuye la demanda de calefacción. Finalmente, el método del área vidriada reducida estima mejor la ganancia solar pero asocia al área ocupada por el marco una transmitancia térmica insuficiente (la del muro en vez de la transmitancia elevada del marco), además de una absorptancia solar reducida (0,3 contra 0,9 para el marco de aluminio). Estos dos aspectos se compensan en invierno y se suman en verano, por eso el error es más significativo para las cargas de refrigeración que para las cargas de calefacción.

Figura 6. Demandas de energía (caso DVH)



Fuente: Figura realizada por el autor

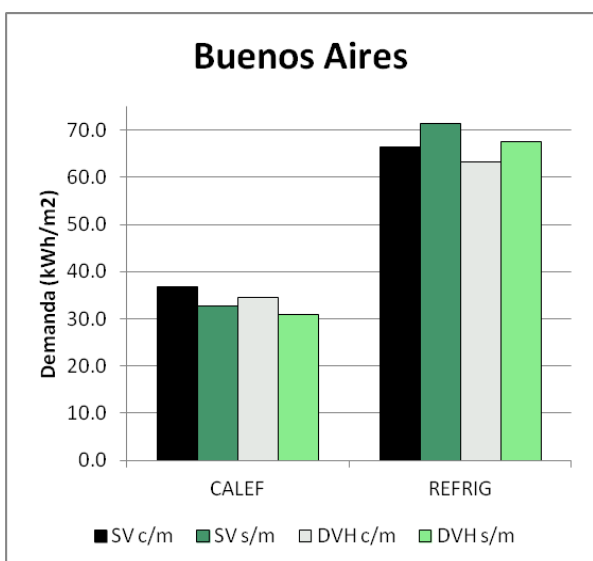
Figura 7. Diferencias porcentuales respecto del modelo detallado (caso DVH).



Fuente: Figura realizada por el autor

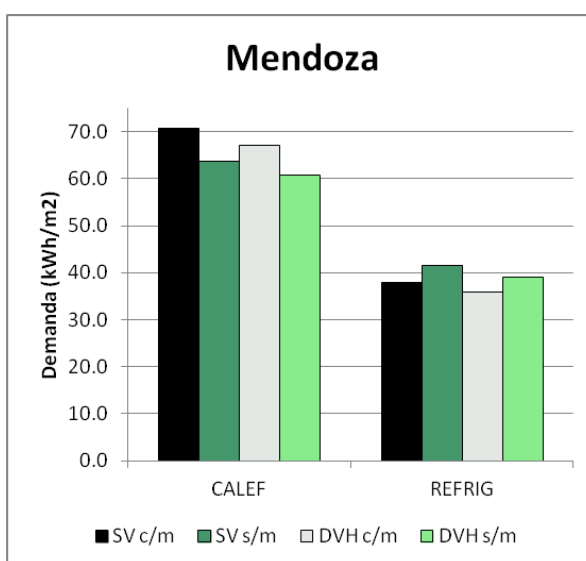
Observando más en detalle los casos de Buenos Aires y Mendoza y enfocándose a los métodos con y sin marco, se comparan las demandas en calefacción y refrigeración para ambos métodos y para los dos tipos de vidriado estudiados (Figuras 8a y 8b). En el período de calefacción, el error asociado a la omisión de los marcos en el caso del simple vidriado (-10,8%) es mayor a la diferencia de cargas térmicas obtenida entre el caso con SV y DVH (-5,7%). Asimismo, en el período de refrigeración, el error cometido al no considerar el marco en el caso del DVH (7,0%), es mayor a la diferencia de demanda obtenida entre los casos con SV y DVH (4,9%). Estos resultados remarcan la importancia de tomar en cuenta los marcos en el modelado de un edificio en EnergyPlus.

Figura 8a. Comparación de las cargas térmicas (caso Buenos Aires).



Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 8b. Comparación de las cargas térmicas (caso Mendoza).



Fuente: Figura realizada por el autor.

Conclusiones

El método aconsejable para realizar una simulación edilicia precisa es el modelado detallado del marco, pero este requiere el conocimiento de las características dimensionales y propiedades térmicas de los marcos empleados. Por lo tanto resulta fundamental la caracterización térmica de las aberturas del mercado nacional en función de sus tecnologías y diseños específicos. Esta caracterización puede realizarse con precisión mediante los programas THERM y WINDOW para luego importar los resultados de la simulación a EnergyPlus.

En cuanto al método simplificado, se necesita conocer los índices de transmitancia térmica y factor solar de la ventana completa. Contrariamente a otros países donde la implementación de un sistema de etiquetado energético de aberturas ha impulsado la medición y/o cálculo de dichos índices, en Argentina hay una carencia de información para la mayoría de las tecnologías y diseños de ventanas disponibles. En consecuencia, para obtener los índices requeridos, se debe calcular primero los índices asociados al marco, por lo tanto conviene utilizar directamente el método detallado.

Finalmente, el método que omite la existencia del marco es una alternativa frecuentemente elegida debido a la falta de información acerca de las características de los marcos, pero implica errores de hasta un 23% en la estimación de las cargas de acondicionamiento térmico para el ejemplo de vivienda analizado. El artefacto de reducir las dimensiones de las ventanas para que la superficie vidriada resultante sea igual a la real, tampoco produce resultados satisfactorios (errores de hasta un 32%). Por más que no se disponga de información suficiente acerca de los marcos de ventanas del edificio a simular, se recomienda de todas formas el modelado de los marcos, aunque sea con valores de conductancia y dimensiones aproximadas, de manera a considerar la reducción de la superficie vidriada resultante de la presencia de las carpinterías opacas, y los intercambios de calor a nivel del marco más elevados que a través de las paredes de la vivienda.

Bibliografía

- Alchapar, N., Correa, E., & Lesino, G. (2012). Reflectividad solar de revestimientos horizontales en la envolvente urbana y su capacidad para mitigar la isla de calor. *Revista Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 28, pp 37-46, 2012.
- Arasteh, D., Kohler, C., & Griffith, B. (2009). Modeling windows in Energy Plus with simple performance indices. Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-2804E, 2009.
- Balter, J., Ganem, C., & Discoli, C. (2012). Auditoría y simulación termoenergética como instrumentos de validación para el estudio y mejoramiento de edificios en altura en “ciudades oasis”. Ejemplo de aplicación sobre una unidad de vivienda en la ciudad de Mendoza. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 16, pp 05.59-05.66, 2012.
- Barea, G., Esteves, A., Ganem, C., & Flores Larsen, S. (2011). Evaluación energética de ventanas multiacimutales en la ciudad de Mendoza mediante prototipos a escala 1:1 y el programa EnergyPlus. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 15, pp 08.173-08.181, 2011.
- De Gastines, M., Villalba, A., & Pattini, A. (2014). Determinación del Factor K de ventanas. Utilización de programas de simulación de precisión para evaluar el impacto del diseño de marcos y de las

condiciones climáticas. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 18, pp 08.35-08.42, 2014.

De Gastines, M., Correa, E., & Pattini, A. (2015). Evaluación del balance energético de ventanas en Mendoza. Impacto de su tecnología y orientación. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 3, pp 05.01-05.12, 2015.

Norma IRAM 11507-4:2001. Carpintería de obra y fachadas integrales livianas: Ventanas exteriores: Parte 4: Requisitos complementarios: Aislación térmica. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Norma ISO 15099:2003. Thermal performance of Windows, Doors and Shading Devices—Detailed Calculations. International Organization for Standardization.

Lyons, P., Wong, J., & Bhandari, M. (2010). A comparison of window modelling methods in EnergyPlus 4.0. Fourth National Conference of IBPSA-USA, New-York, pp. 177-184.

Monroy, M. (1995). Comportamiento térmico de cerramientos soleados. Tesis Doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Apéndice B.

Norma NFRC 100-2004. Procedure for Determining Fenestration Product U-Factors. National Fenestration Rating Council, United States.

Winkelmann, F. (2001). Modeling Windows in EnergyPlus. Seventh International Conference IBPSA, Brazil, pp. 457-464.

Impacto de la configuración espacial de patios urbanos en sus condiciones de asoleamiento. Análisis y evaluación del estado del conocimiento y su aplicación al caso de Mendoza.

M. Emilia Balmaceda¹, M. Alicia Cantón¹, Erica N. Correa¹

Resumen

En el proceso de desarrollo y consolidación de las manzanas urbanas, los patios han sufrido transformaciones dimensionales y formales alterando sus prestaciones funcionales, ambientales y de habitabilidad del espacio en sí mismo y los espacios interiores contiguos.

Este trabajo persigue determinar el estado del conocimiento científico internacional en torno a las posibilidades que ofrece el patio como espacio regulador del recurso solar y, elaborar una base teórica que permita determinar las configuraciones más eficientes en zonas áridas localizadas en latitudes similares al Área Metropolitana de Mendoza, Argentina -32° 40´-. Con el fin de sentar bases técnicas a incorporar a Códigos de Edificación que regulen la relación entre volúmenes construidos y vacíos, con el objeto de mejorar las condiciones energético-ambientales a escala micro de la manzana y a escala macro del entorno urbano. La configuración de patio más eficiente está asociada al manejo de las proporciones y orientación en función del aprovechamiento del recurso solar en invierno y al bloqueo del mismo en verano.

Palabras clave: patio urbano; configuración espacial; clima; asoleamiento.

Impact of the spatial configuration of urban courtyards in their conditions of sunlight. Analysis and assessment of the state of knowledge.

Abstract

In the process of development and consolidation of urban blocks, courtyards have suffered dimensional and formal transformations altering their functional, environmental and livability characteristics of the space itself and the adjacent interior spaces.

This work aims to determine the status of international scientific knowledge about the possibilities offered by the courtyard as regulatory space of the solar resource and develop a theoretical basis for determining the most efficient configurations in arid zones located at similar latitudes of the

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE CCT CONICET Mendoza). Av. Ruiz Leal, s/n. Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina. Tel: +54-261-524-4310. e-mail: mbalmaceda@mendoza-conicet.gob.ar

Metropolitan Area of Mendoza , Argentina -32° 40'-. . In order to lay basis for developing technical standards to incorporate Building Code, governing the relationship between built volumes and voids, in order to improve, the energy and environmental conditions, in micro scale block and macro scale of the urban environment. The more efficient courtyard configuration is associated with the handling of proportions and orientation depending on the use of solar resources in winter and in summer hang of it.

Keywords: urban courtyard; spatial configuration; weather; sunlight.

Introducción

La necesidad de concentración de la población como consecuencia del desarrollo de las ciudades y la especulación del uso del suelo urbano regulado por índices que potencian la ocupación de las parcelas, entre otros factores, generó la explotación desmedida de la tierra limitado la presencia de espacios abiertos en las ciudades.

En el caso de Mendoza, Argentina, el modelo fundacional de partición del suelo de la manzana cuadrada y la implantación del modelo italiano de casa “chorizo” dio lugar a una fuerte concentración de espacios abiertos en el centro de la manzana. Esta caracterización comenzó a experimentar transformaciones derivadas del proceso de urbanización de la sociedad contemporánea, hacia la segunda mitad del siglo XIX. De esta forma surgió la tipología compacta, las casas aumentaron su fondo edificado y el patio perdió progresivamente su valor de uso. Surge un nuevo concepto de espacio abierto: el patio entendido como necesidad higiénica: el patio de luz y ventilación.

Si se tiene en cuenta que Mendoza se inserta en un clima árido y seco, caracterizado por inviernos fríos, veranos calurosos, importantes amplitudes térmicas diarias y estacionales, escasas lluvias (250 mm anuales promedio) y 2.762 horas anuales de sol, recuperar el espacio abierto destinado a patios es un imperativo, dado que la utilización del exterior en la arquitectura de los desiertos constituye una estrategia de diseño bioambiental de elevado impacto en las condiciones de confort del espacio interior. En la última década, la pérdida promedio de espacio abierto destinado a patios es del orden del 20%, siendo más significativa en las áreas urbanas residenciales en donde la disminución del espacio abierto alcanza valores máximos del 35% (Cantón, 2004). Esto se debe a que, en las modificaciones incorporadas al Código de Edificación del departamento de Capital, Mendoza a fines del 2010 sólo se regulan retiros posteriores en edificaciones que superan los tres pisos, siendo posible que las construcciones de menor altura colinden con el límite posterior del predio.

Este trabajo busca compactar y sintetizar el conocimiento científico internacional, para determinar la configuración morfológica más eficiente para el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina -32° 40', en torno a las posibilidades que ofrece el patio como espacio regulador del recurso solar como estrategia bioclimática.

Metodología

La búsqueda bibliográfica se orientó a identificar documentos actualizados que abordan investigaciones de carácter científico referido a patios, en diferentes localizaciones geográficas y climáticas, en el periodo 2005-2015. A tal fin se rastreó información en las siguientes bases de datos

digitales: ScienceDirect , ProQuest , EBSCOhost , CSA Illumina, informaworld, SpringerLink, Web of Science y Wiley Interscience.

Los artículos recopilados fueron seleccionados en función de la calidad de los mismos determinada a partir del análisis sistémico de indicadores (Saracevik, 1999). De esta forma, quedo definido un conjunto de 30 trabajos que abordan la problemática de los patios asociados a cuatro áreas temáticas: disponibilidad de la radiación solar, flujos de viento y, consumo energético y confort en espacios conexos. Este trabajo refiere al análisis de la bibliografía relacionada a la primer área temática.

La información extractada de los documentos fue analizada, condensada y sistematizada de la siguiente manera:

Información de carácter general: Distribución porcentual de documentos por ámbito geográfico y clima agrupados de acuerdo a la clasificación de Vladimir Petrovich Köppen (1953), la cual identifica cada tipo de clima con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan dicho tipo de clima. (https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificación_climática_de_Köppen).

Caracterización morfológica de patios: La geometría del espacio abierto se define a partir de la metodología desarrollada por Muhaisen et al. (2006a), mediante el empleo de dos indicadores:

-R1 y R2. R1 se define como la relación entre el perímetro del patio y la altura (P/H) y este parámetro oscila entre 1-patio muy profundo- y 10 -patio superficial-. R2 se define como la relación entre el ancho y la longitud del patio (W/L) y su valor varía entre 0,1 -patio de marcado desarrollo longitudinal- y 1 -patio cuadrangular-.

- Metodologías de evaluación: a) Métodos Experimentales. Casos de estudio, Variables medidas, Equipamiento de medición empleado. b) Métodos Teóricos: Casos de estudio, Software de simulación.

-Análisis crítico de resultados generales y, en relación al caso de estudio, mediante la sistematización de información propia o realizada por los autores, en función de las siguientes variables de análisis: 1. Proporciones, 2. Alturas, 3. Orientación, 4. Acceso al sol y su efecto sobre la disponibilidad de luz natural, 5. Número de lados del patio.

Caso de estudio

Mendoza, como caso de estudio, se encuentra en el oeste de Argentina central (32° 40' latitud Sur, 68° 51' longitud Oeste, 750 m sobre el nivel del mar) en un clima semi árido continental, con porcentajes bajos de humedad relativa en la atmósfera y largas horas de luz solar. Corresponde al clima BWk árido frío, según la clasificación climática de Köppen Geiger.

Resultados

Análisis e integración de la información

Los trabajos científicos seleccionados, abordan la temática del acceso al sol en patios y pertenecen a distintas zonas climáticas, agrupadas según la clasificación de Köppen Geiger, en su mayoría corresponden a climas secos (-BWh, árido cálido- y -BWk, árido frío-), y templados (-Csa, Mediterraneo - y -Cfb, oceánico-), y el resto se distribuye equitativamente entre climas Tropicales (-

Af, Ecuatorial-) y Continentales (-Dfb, Hemiboreal sin estación seca-) (Figura 2), según la clasificación de Köppen Geiger.

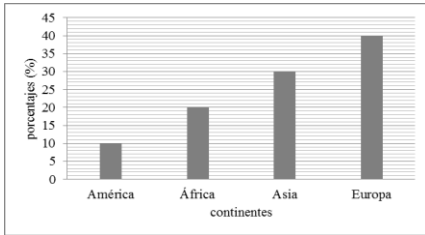


Figura 1: Porcentaje de casos analizados por continente. Fuente: Elaboración propia.

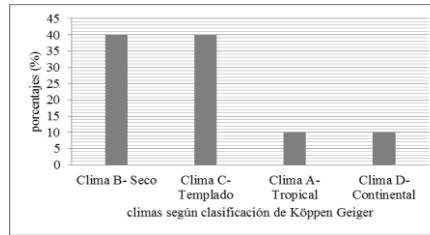


Figura 2: Porcentaje de casos estudiados de acuerdo a clasificación de zonas climáticas de Köppen Geiger. Fuente: Elaboración propia.

Las temáticas abordan el efecto de la disponibilidad de radiación solar en patios con diferentes características morfológicas. El análisis, se ha llevado a cabo mediante el estudio del impacto de cinco variables: 1. Proporciones, 2. Alturas, 3. Orientación, 4. Acceso al sol y su efecto sobre la disponibilidad de luz natural, 5. Número de lados del patio.

Metodológicamente el 57% de las investigaciones analizadas emplean como herramienta de diagnóstico la simulación, mediante los siguientes softwares: CourtSun, Sunhearthtool y Radiance, además se desarrolló un programa en el software Visual Basic, para evaluar el desempeño de sombreado, el mismo se validó por SunCast y ArchiCAD. El 29% de los trabajos emplean como método de análisis el desarrollo de mediciones experimentales combinadas con simulación, se utilizan data loggers tipo HOBO H08-003-02 para la medición in situ de temperatura del aire y humedad relativa, en combinación con el uso de software Energy Plus (simulación edilicia) o bien se combina simulación mediante software ENVI met (simulación urbana) y Sketchup (Chronoloux plugin) contrastado con mediciones en campo mediante una estación meteorológica inalámbrica Vantage Pro2. El 14% de las investigaciones emplean como herramienta de diagnóstico mediciones de campo, tanto en verano como en invierno, con la siguiente instrumentación: para medir temperatura ambiente y humedad relativa, sensor PT100 y sonda Campbell HMP35C RH, velocidad y dirección de viento se miden a través de anemómetro Lambrecht KG Gottingen 1482.

Sistematización de la temática de acuerdo a las variables seleccionadas para su análisis

1. Proporciones

Muhaisen 2006b, estudió el impacto, de los parámetros geométricos del patio, debido a la penetración de la radiación solar en su envolvente interna, para diferentes latitudes correspondientes a las ciudades de, Kuala Lumpur lat. 4° N, El Cairo 30° N, Roma 40° N y Estocolmo 60° N. De los cuatro casos de estudio, la ciudad de El Cairo presenta características de localización y clima semejantes al caso de estudio local.

Las proporciones del patio, están definidas por los parámetros R1 y R2 (Ver Figura 3). Se evaluó el efecto sobre las áreas asoleadas y sombreadas, de cambiar las proporciones del patio, a través de la variación de sus parámetros geométricos R1 y R2, manteniendo constante el área de envolvente de 484m². Este parámetro ha sido analizado en verano, donde lo más importante es aumentar las superficies sombreadas, y en invierno, donde lo primordial es incrementar las superficies con acceso a la radiación solar.

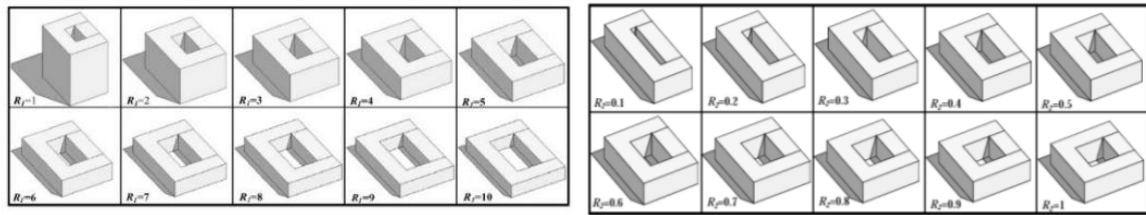


Figura 3: Geometrías de patios resultantes de distintas relaciones de R1 (izq.) y R2 (der.).
Fuente: Muhaisen, (2006b).

En verano, la configuración más favorable, depende de la latitud. En altas latitudes, con la disminución de la profundidad del patio, mayor será la disminución de la superficie sombreada. Por ejemplo, para un patio con un valor de elongación intermedio $R_2=0,5$, la reducción del área sombreada, es más significativa para climas fríos, como el de Estocolmo (lat. 60°), donde el área sombreada se reduce en un 33%, para el caso del El Cairo, (lat. 30°), de latitud intermedia y clima árido, de similares características al caso de estudio, el porcentaje de área sombreada se reduce en un 27% al hacer la forma más superficial. Esto pone de manifiesto que aumentar la profundidad del patio como estrategia para incrementar la superficie sombreada en el verano, es más efectiva en ciudades de mayor latitud (Fig. 4)

Al variar los parámetros geométricos R_1 y R_2 , el porcentaje de superficie sombreada es mayor a cualquier latitud cuando $R_1=1$ y $R_2=0,1$, excepto para El Cairo (lat. 30°), donde se posiciona el caso de estudio-, donde la mejor combinación, se da con $R_1=1$ y $R_2=1$. La configuración morfológica que presenta mayor superficie asoleada es $R_1=10$ y $R_2=1$ para cualquier latitud.

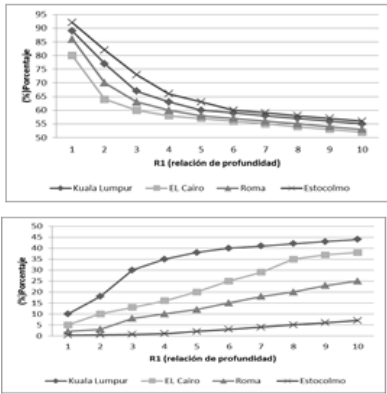
En invierno, el efecto de disminuir la profundidad del patio, para el caso de un patio con un valor de elongación intermedio $R_2=0,5$, tendrá mayor impacto en localidades de menor latitud. Por ejemplo, para el caso de Estocolmo (lat. 60°), su porcentaje de muros asoleados aumenta un 4%, mientras que para el caso con características similares a Mendoza, (El Cairo, lat 30°), las áreas asoleadas aumentan un 34%. Esto demuestra que disminuir la profundidad del patio como estrategia para aumentar la ganancia solar en invierno, es más efectivo en ciudades de menor latitud. (Fig. 5)

Para el invierno, el porcentaje de superficie expuesta, es mayor a cualquier latitud, cuando $R_1=10$ y $R_2=1$. Y la configuración morfológica que presenta menor superficie asoleada es $R_1=1$, $R_2=0,1$, para cualquier latitud.

El efecto de variar R_2 , manteniendo constante el valor de R_1 , es más significativo en latitudes intermedias -30° - (El Cairo- Mendoza), alcanzando hasta 27% de disminución del porcentaje de área soleada, en los demás casos, las disminuciones son menores.

En la Figura 6 se resumen las mejores combinaciones para las distintas latitudes, y los porcentajes de sombra y asoleamiento alcanzados.

En conclusión, durante el verano, variar la morfología del patio, permite modificar entre 30% y 40% el área sombreada sobre superficie vertical, para cualquier latitud. Durante el invierno, variar la morfología del patio puede cambiar la proporción de área asoleada vertical entre 30% y 40% para todas las latitudes menores a 60° . Para latitudes mayores, el manejo de la morfología del patio, impacta menos del 6%, en la disponibilidad de superficie vertical asoleada. (Muhaisen, 2006b).



Figuras 4 y 5: Disminución del área sombreada en verano e incremento del área soleada en invierno, en diferentes latitudes. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Muhaisen, (2006b).

| 14hs | Kuala Lumpur (lat. 4° N) | El Cairo (lat. 30° N) | Roma (lat. 40° N) | Estocolmo (lat. 60° N) | |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|-------|
| 21 de junio verano | peor relación R1=10, R2=[0,1-1] | | | | |
| | 55% | 52% | 54% | 58% | |
| | relación óptima R1=1, R2=0,1 | | | | |
| 21 de dic. invierno | peor relación R1=1, R2=0,1 | | | | |
| | 0,4% | 0,2% | 0,15% | 0,1% | |
| | relación óptima R1=10, R2=1 | | | | |
| máximo valor (sombreada) | | 95,3% | 82,6% | 92,4% | 96,7% |
| máximo valor (Área expuesta) | | 44% | 37,5% | 30,8% | 5,6% |

Figura 6: Resumen de resultados en patios de diferentes latitudes en verano e invierno. (Gráficos axonométricos) Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Muhaisen, (2006b).

Wazeri 2013, evaluó el efecto de las fachadas dentadas y proporciones, sobre la relación de áreas expuestas y sombreadas, tanto en invierno como en verano, en Egipto (latitud 30°), de características de localización y climáticas similares a Mendoza.

| PATIO | AXONOMETRICA | PLANTA | % SOMBREO 21/06 (verano) | % SOMBREO 21/12 (invierno) | RELACION DE "CAJA" | Sup. muros Sup. planta |
|---------------------------------------|--------------|--------|--------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|
| Al Dahaby 140 m ² | | | | | 4,53 | 4,22 |
| Patio 1 | | | | | | |
| Es- Sinnari 84,5 m ² | | | | | 4,36 | 4,36 |
| Patio 2 | | | | | | |
| Zaynab Khalun 90 m ² | | | | | 5,96 | 5,96 |
| Patio 3 | | | | | | |

Figura 7: Descripción geométrica de patios. Porcentajes de sombra, vertical y horizontal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Hassan Wazeri Y. (2013).

El efecto de las proyecciones, al comparar dos patios que tienen iguales proporciones R1 –altura - y R2 – elongación (patios 1 y 2), es de un 9% más de superficie sombreada vertical y 1% más de superficie sombreada horizontal que el patio sin proyecciones. En invierno el patio con proyecciones presenta 2% más de superficie vertical asoleada. (En la Figura 7 se resumen los resultados).

En caso de un patio más encajonado, es decir, menor R1 (patio 3), como resultado de su proyección y profundidad, se incrementa el porcentaje de sombreado sobre la superficie horizontal y disminuye sobre la superficie vertical en verano (patio 3 vs patio 1). En el invierno, para este caso, aumenta el porcentaje de superficie vertical sombreada. (Ver Figura 7, patios 1 y 3). La bibliografía internacional analizada, permite determinar que en Mendoza –Lat. 32°-, a los efectos de aumentar áreas sombreadas en verano, la configuración más eficiente responde a una geometría del patio definida por R1=1 y R2=1. Por otra parte, las fachadas dentadas en patios, proporcionan en verano, mayores condiciones de sombra sobre plano vertical y horizontal.

En invierno con el objeto de incrementar el asoleamiento del espacio abierto, la configuración debe responder a una estructura de patio del tipo abierta, definida por R1=10 y R2=1.

2. Alturas

Muhaisen 2006b, estudió el efecto sobre el asoleamiento del patio, al modificar la altura de su envolvente, (entre uno y cinco pisos), manteniendo constante la elongación del mismo. Además se analizó, como influye, el incremento del número de pisos de acuerdo a la latitud. El análisis se realizó para diferentes latitudes correspondientes a las ciudades de, Kuala Lumpur lat. 4° N, El Cairo 30° N, Roma 40° N y Estocolmo 60° N. De los cuatro casos de estudio, la ciudad de El Cairo presenta características de localización y clima semejantes al caso de estudio local.

El estudio se hizo a partir de patios con un $R2=0,5$ y tomando pisos de 3m de altura cada uno, como unidad de área básica para calcular el porcentaje de sombra a diferentes alturas. Se pone en evidencia que en verano, serian convenientes patios con mayor cantidad de pisos y en invierno viceversa. Mientras más alta sea la posición del sol, menor será el efecto del sombreado por el incremento de pisos.

En verano, con un piso de altura la influencia de la latitud no es significativa en la variación del porcentaje de sombreado, ya que en las 4 latitudes evaluadas, oscilan entre 50% y 60%. Con 5 pisos de altura, el porcentaje de sombreado aumenta a medida que la latitud se incrementa. Como ejemplo, Estocolmo (60°N) tiene un 12% más, que el caso del El Cairo (30°), donde se posiciona el caso de estudio. Aumentar un piso de altura en un patio localizado a (lat. 60° N), representa un incremento de la superficie sombreada de 6,3% mientras que para uno localizado a lat. 30° N, el incremento es de solo 2,5%. (En la Tabla 1 se puede observar el impacto del incremento de un nivel en el aumento del porcentaje de superficie sombreada en verano y la disminución del porcentaje de superficie asoleada en invierno -expresada con un signo negativo-, en las diferentes latitudes). En invierno, los patios de un piso de altura, localizados en latitudes próximas al Ecuador (lat. 4° N), consiguen incrementar hasta en un 43% el porcentaje de superficie asoleada respecto de aquellos localizados en latitudes mayores (lat. 60° N). Para patios de 5 pisos, el porcentaje de áreas asoleadas se incrementa a medida que disminuye la latitud, hasta en 24% (Fig. 8). Se presentan para cada latitud evaluada la morfología que ofrece la respuesta óptima en torno a conciliar los requerimientos de invierno y verano, tomando en consideración los máximos porcentajes de reducción alcanzables (Tabla 1).

| Localización geográfica | Verano área sombreada (%) | Invierno área asoleada (%) | Patio alturas óptimas |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Kuala Lumpur (lat. 4° N) | 4,30% | -6% | 3 niveles |
| El Cairo (lat. 30° N) | 2,50 | -7,5 | 2 niveles |
| Roma (lat. 40° N) | 3,40 | -6,60 | 2 niveles |
| Estocolmo (lat. 60° N) | 6,30 | -1,30 | 1 nivel |

Tabla 1: Porcentaje promedio de área sombreada en verano y asoleada en invierno debido al aumento de un nivel para distintas latitudes. Alturas óptimas para cada latitud. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Muhaisen, (2006b)

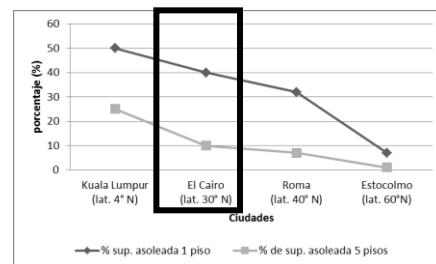


Figura 8: Porcentajes de superficie asoleada en invierno en patios de uno y cinco pisos en las diferentes latitudes. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Muhaisen, (2006b)

Estos estudios, refrendan lo dicho para el caso de la Ciudad de Mendoza, respecto del análisis de la variable "proporciones". En invierno la mayor condición de asoleamiento, está asociada a patios de

baja altura. Mientras que en verano, la menor condición de asoleamiento está relacionada a patios más profundos.

1. Orientación

Muhaisen 2006b, evaluó la orientación de un patio en relación al acceso al sol para diferentes latitudes correspondientes a las ciudades de, Kuala Lumpur lat. 4° N, El Cairo 30° N, Roma 40° N y Estocolmo 60° N. De los cuatro casos de estudio, la ciudad de El Cairo presenta características de localización y clima semejantes al caso de estudio local. La configuración geométrica del patio está definida por dos indicadores: $-R1= 5$ y $R2= 0,5-$. Este parámetro ha sido analizado en torno a verano e invierno. El análisis de verano se asocia al porcentaje de sombra en el espacio abierto y, el de invierno en relación a su condición de asoleamiento.

En verano, la configuración más favorable, depende de la latitud. En latitudes extremas (lat. 4° N, 60° N) la máxima cantidad de sombra, se alcanza cuando el lado mayor del volumen se desarrolla en sentido Norte Sur. En latitudes intermedias, dentro de las cuales se posiciona el caso de estudio – Mendoza –, la condición máxima de sombra, se obtiene cuando el lado mayor del patio se orienta en sentido NE- SO formando un ángulo de entre 60° y 70°, con el eje Este- Oeste, (en la Figura 9 se resumen las orientaciones óptimas para cada latitud tanto en verano como en invierno). La orientación menos favorable, es común para todas las latitudes y corresponde al lado mayor del patio desarrollado en sentido Este- Oeste.

En invierno, para todas las orientaciones, el patio que recibe mayor porcentaje de radiación solar es el de menor latitud y el que recibe menor porcentaje es la que se encuentra a mayor latitud. Entre ambas latitudes, las diferencias, son del orden del 30%. (Ver Figura 10). En latitudes, de 30°, como es el caso de Mendoza, la condición de asoleamiento alcanza valores intermedios entre las latitudes extremas, en un rango que varía entre el 20% y el 25%.

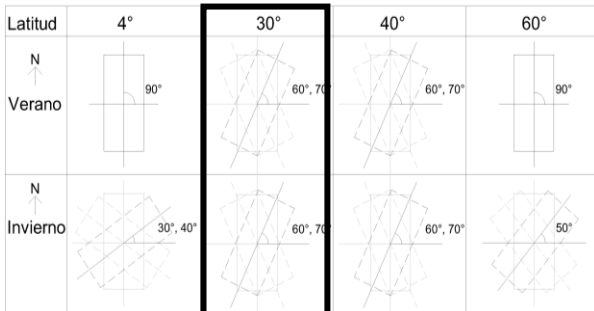


Figura 9: Orientaciones óptimas (Plantas) para cada latitud en morfologías de patio caracterizadas con $R1=5$, $R2=0,5$ en invierno y verano. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Muhaisen (2006b).

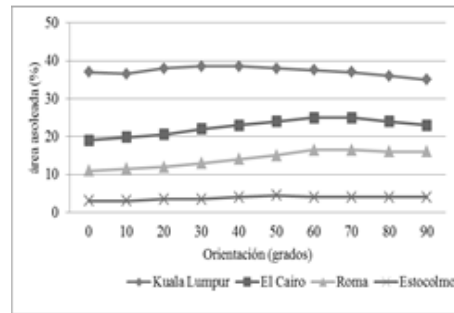


Figura 10: Efecto de cambiar la orientación del patio en Invierno. Fuente: Muhaisen (2006b).

Taleghani et al., 2014, evaluaron la cantidad de horas de radiación solar directa en el centro de patios rectangulares y cuadrados, en la estación verano, en de Bilt Holanda –latitud 50°-. Para el caso de patios rectangulares, el número de horas de sol se reduce aproximadamente un 62%, cuando la orientación del patio cambia de E-O a N-S y un 56% cuando la orientación del patio cambia de E-O a NE-SO/NO-SE. Para el caso de patios cuadrados, debido a su morfología, las orientaciones N-S y E-O tienen el mismo tiempo de exposición, mientras que al inclinarlo 45° o 135°, se reduce en un 33%. (Ver Figura 11).

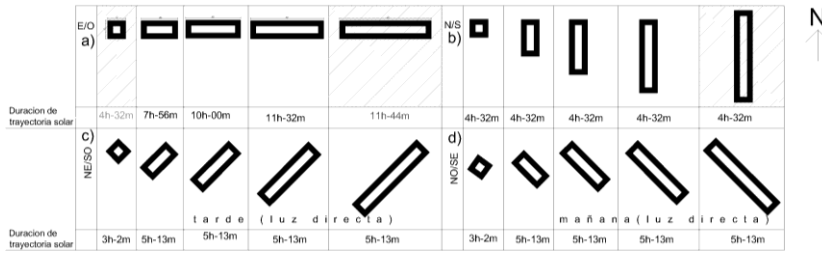


Figura 11: Tiempo de exposición solar en el centro del patio en función de la geometría y orientación (Plantas) (Lat.52°N). Fuente: Elaboración propia en base a datos de Taleghani et al. (2014)

De lo expuesto, se desprende que en latitudes extremas, en verano, la configuración rectangular del patio orientado E-O permite alcanzar la mayor cantidad de horas de sol. En la configuración cuadrada, esta condición se alcanza en las orientaciones puras N-S y E-O, aunque en menor magnitud, respecto al patio rectangular (11,73 h de sol vs 4,5 h).

2. Acceso al sol y su efecto sobre la disponibilidad de luz natural

Freewan, 2011, analizó el impacto de diferentes geometrías de las superficies verticales del patio, sobre el nivel de iluminación natural en espacios interiores adyacentes, para Irbid Jordania 30° N (latitud similar a Mendoza). Las diferentes configuraciones de patios pueden disminuir hasta aproximadamente un 80 % el nivel de iluminancia de un espacio conexo. En la Figura 12 se observan diferentes configuraciones de patios, se destacan las que mejoran el rendimiento de la luz del día, mediante la reducción de luz directa excesiva, en comparación con un patio con muros verticales. En las Figuras 13 Y 14, se muestra el efecto de estas combinaciones, en una habitación cuya abertura tiene orientación Sur. En verano, en una habitación cuya abertura está orientada hacia el Sur, la configuración con mayor nivel de iluminación es la C3, alcanzando valores de hasta 2700 lux y la que menor nivel de iluminación recibe es la configuración C2, se obtienen diferencias de aproximadamente un 35%. En invierno, la configuración A2 es la que mayor nivel de iluminación recibe, alcanzando valores de hasta 900 y 2400 lux respectivamente, en invierno la configuración C4 fue la que menor nivel de iluminación recibió, al variar la configuración se alcanzaron diferencias de aproximadamente 80%.

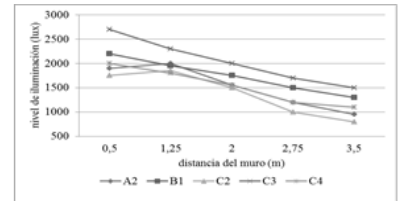
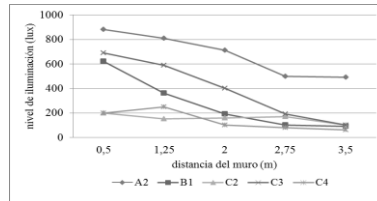
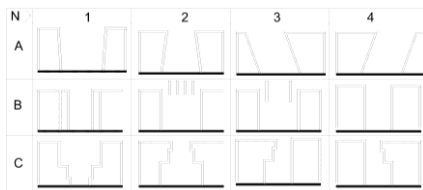


Figura 12: Configuraciones de patios analizadas en torno a la disponibilidad de luz natural (Cortes). Fuente: Freewan, (2011).

Figura 13: Distribución del nivel de iluminancia en invierno. Fuente: Elaboración propia en base a los datos de Freewan, (2011).

Figura 14: Distribución del nivel de iluminancia en verano. Fuente: Elaboración propia en base a los datos de Freewan (2011).

Para el caso de Mendoza, en verano, la configuración que alcanza menores niveles de iluminancia, se asocia a una configuración simétrica, cuya geometría cierra la visión de bóveda celeste (Figura 12, Configuración C2). La configuración que mayor nivel de iluminancia alcanza, es de carácter asimétrica, disminuyendo la apertura del patio en su límite superior (Figura 12, Configuración C3).

En invierno, los mayores niveles de iluminancia están asociados a patios, de carácter simétrico definidos por fachadas que disminuyen la apertura del patio en su límite superior (Figura 12, configuración A2). Los menores niveles de iluminancia están asociados a patios simétricos dentados y asimétricos en donde se combinan fachadas planas y dentadas (Figura 12, configuración C 2 y C4).

3. Número de lados del patio

Muhaisen et al., 2006c, evaluó el comportamiento en relación al acceso al sol, de patios poligonales, de cinco a ocho lados. El análisis se realizó en Roma (lat. 40°N). La variación del parámetro R1, se utilizó como criterio de comparación, calculando el porcentaje de sombra.

En verano e invierno, el patio que presenta mejor comportamiento es el pentagonal y el de peor desempeño es el patio de forma heptagonal. En verano, las diferencias respecto al acceso al sol, son más significativas. En esta estación, los patios pentagonales presentan 14% más superficie sombreada en muros que los heptagonales cuando R1 = 10 -patio poco profundo- y 5% más superficie sombreada cuando R1= 1-patio profundo-. En invierno, las diferencias son inferiores, un patio con R1=10 de forma pentagonal, consigue un 5% más de radiación solar que el heptagonal, en un patio más profundo R1=1, la diferencia es de solo en 1%. (Ver Figura 15)

| INVIERNO | | | Morfología en planta de PATIOS POLIGONALES | VERANO | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| R1=10 | R1=5 | R1=1 | | R1=1 | | R1=5 | | R1=10 | |
| % de muros soleados | % de muros soleados | % de muros soleados | | % de muros sombreados | % de pisos sombreados | % de muros sombreados | % de pisos sombreados | % de muros sombreados | % de pisos sombreados |
| 37 | 19 | 4 |  Pentagonal | 85,56 | 100 | 63,81 | 49,94 | 61,90 | 26,23 |
| 33 | 18 | 4 |  Hexagonal | 83,04 | 100 | 56,81 | 48,88 | 53,44 | 25,80 |
| 32 | 16 | 3 |  Heptagonal | 82,47 | 100 | 52,05 | 47,51 | 47,47 | 24,33 |
| 32 | 18,5 | 3 |  Octagonal | 83,29 | 100 | 56,39 | 47,24 | 53,23 | 24,55 |

Figura 15: Condición de asoleamiento de patios poligonales en invierno y verano. (Lat. 40°N) Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Muhaisen et al., (2006c).

Conclusiones

La bibliografía examinada, expone el análisis del efecto de la disponibilidad de la radiación solar en patios con diferentes características morfológicas, mediante el estudio del impacto de cinco variables: Proporciones, Alturas, Orientación, Acceso al sol y su efecto sobre la disponibilidad de luz natural y Número de lados del patio. El análisis realizado, apunta a poder determinar los escenarios más eficientes, desde el punto de vista del acceso al sol, para el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina -32° 40'. Desde el punto de vista metodológico, los distintos abordajes se centran fundamentalmente en el uso de métodos de diagnóstico teóricos para predecir el comportamiento de escenarios reales y teóricos. En menor medida se emplean métodos experimentales debido a la complejidad que implica desarrollar mediciones en casos reales.

- En verano, la proporción de patio más favorable, depende de la latitud, en la latitud de Mendoza, se obtiene con una geometría cuadrada y altura (R1=1, R2=1); las reducciones del área sombreada dependen de la latitud, para el caso de Mendoza (30°), al disminuir la profundidad del patio, las reducciones son menos significativas que a mayores latitudes (lat. 60°) 27% vs 33%.

En Invierno, la geometría más favorable para Mendoza, se obtiene con una configuración de planta cuadrada y baja altura (R1=10, R2=1). El aumento de la ganancia solar al disminuir la profundidad del

patio, es más efectivo en ciudades de menor latitud. En latitudes como Mendoza, se observa un aumento del área soleada de 34%, un 30% más que en Estocolmo (lat. 60°).

La morfología de las fachadas tiene un alto grado de impacto sobre el aumento de las superficies verticales sombreadas en verano aumentando en un 9% el porcentaje de superficie sombreada, en invierno este aumento no es significativo (2%).

- La altura que ofrece la respuesta óptima en torno a conciliar los requerimientos de invierno y verano, está asociada a la latitud, es de dos pisos para latitudes similares a Mendoza.

En verano, para la latitud de Mendoza, aumentar la altura del patio un piso, incrementa el porcentaje de área sombreada en 2,5%.

En invierno, los porcentajes de superficie asoleada, aumentan, en la medida que el patio se vuelve más superficial. En el caso de Mendoza, se obtiene un porcentaje de superficie sombreada de 10% con cinco pisos y de 40% con un piso.

- En cuanto a la orientación, en verano el patio más favorable en términos de su condición de sombreado, depende de la latitud, en la latitud de Mendoza, corresponde a un patio, cuyo lado mayor, se desarrolla en sentido NE- SO, siendo la orientación E-O la más desfavorable.

En invierno el porcentaje de asoleamiento, también depende de la latitud, varía entre 4% y 40%. en Mendoza, alcanza valores intermedios del orden del 20%. La orientación, para todas las latitudes, no tiene una incidencia significativa en el porcentaje de asoleamiento del patio.

Estas conclusiones indican que la orientación del patio, en un clima templado- árido, debe definirse en relación a dar respuesta a la condición de verano, dada la baja incidencia de este parámetro en la determinación de condición de asoleamiento en invierno.

- Los niveles de iluminancia, para la latitud de Mendoza, en espacios adyacentes a patios orientados hacia el Sur, son menores en invierno que en verano. La morfología del patio impacta en mayor medida en el invierno y; dependiendo de ella, los niveles de reducción alcanzan valores del 80%. En verano, estos porcentajes alcanzan valores máximos del orden del 35%.

- Respecto a patios poligonales, esta configuración ha sido estudiada para latitudes intermedias de 40°, no para el caso de Mendoza. La configuración de patio que presenta condiciones más favorables, es la poligonal de forma heptagonal evidencia el peor desempeño.

Este conjunto de resultados muestran la importancia que adquiere el patio como espacio regulador de las condiciones de asoleamiento y sombreado del ámbito en sí mismo. Permite determinar las configuraciones más eficientes en cuanto a las prestaciones ambientales, el uso del patio en sí mismo y la habitabilidad de los espacios interiores conexos para la latitud de Mendoza.

Bibliografía

Cantón, M. A. y De Rosa, C. (2004). Centros libres de manzana en el Área Metropolitana de Mendoza. Análisis y diagnóstico de la condición del espacio abierto. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen 8, N° 1. pp. 5.31-5.36.

Cantón, M. A.; Ganem, C.; Barea, G.; Fernandez, J. (2014) Courtyards as a passive strategy in semi dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building. Renewable Energy 69 (2014) 437e446

- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.
- Freewan A. (2011). Modifying Courtyard Wall Geometries to Optimize the Daylight Performance of the Courtyard. *Resultados de la Segunda Conferencia Internacional ,Sustainability in Energy and Buildings, SIST 7*, pp. 57–64.
- Geiger R, Pohl W. (1953). *Revision of Köppen- Geiger climate maps of the earth*. Germany: Justus Perthes;
- Hassan Wazeri Y. (2013). Comparative study between three courtyards of traditional houses in Islamic Cairo. *Journal of Islamic Architecture*. Volume 2 Issue 4
- Mc Pherson, E.G.(1992). Accounting for benefits and costs of urban greenspace. *Urban Planning*.22, 41-51.
- Muhaisen Ahmed S y Gadi Mohamed B. (2006a). Effect of courtyard proportions on solar heat gain and energy requirement in the temperate climate of Rome. *Building and Environments* 41, 245–253
- Muhaisen Ahmed S. (2006b) Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions. *Building and Environments* 41, 1731–1741
- Muhaisen Ahmed S. y Gadi Mohamed B. (2006c). Shading performance of polygonal courtyard forms. *Building and Environments* 41, 1050–1059
- Saracevic T. (1999). *Information Science*. *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 50, nº 12, p. 1060
- Taleghani M., Tenpierik M., van den Dobbelsteen A., Sailor D. (2014) Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy* 103, 108–124

Autores

M. Emilia Balmaceda es Arquitecta y becaria doctoral de CONICET. mbalmaceda@mendoza-conicet.gob.ar

M. Alicia Cantón es Arquitecta, DAE en Arquitectura, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en FAUD-Universidad de Mendoza. macanton@mendoza-conicet.gob.ar

Erica N. Correa es Ingeniera Química, Doctora en Ciencias - Área Energías Renovables, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en UTN-FRM. ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

Auditoría Energética y Ambiental de una Vivienda Unifamiliar “Tipo Cajón” ubicada en la ciudad de La Plata, Buenos Aires.

Laura Garganta¹, Pablo Murace², Emiliano Gomez³

Resumen

El presente trabajo desarrolla una experiencia realizada en una vivienda unifamiliar analizando su comportamiento higrotérmico, energético y medioambiental. La investigación fue basada en un estudio de auditoría higrotérmica y energética de la vivienda, localizada en el casco urbano de la ciudad de La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina. La vivienda seleccionada corresponde a una tipología del tipo cajón, característica de la ciudad. Se ha trabajado en una metodología que aborda una auditoría energética integral con el fin de elaborar propuestas tecnológico-constructivas para el mejoramiento energético de la vivienda, teniendo como herramienta la simulación dinámica Energy Plus. A través de este trabajo se generaron indicadores que podrán contrastarse con otros casos de estudio.

Palabras clave: vivienda cajón, auditoría energética, eficiencia energética, confort

Energy and environmental audit of a “box-type” family house located in the city of La Plata, Buenos Aires.

Abstract

This paper intends to share an experience developed in a single-family house analyzing its energetic and environmental behavior. This research is based on an audit study of humidity and temperature of a house located in the downtown area of La Plata, Buenos Aires, Argentina. The “box-type” house chosen is a typical typology in La Plata city. An integral energetic audit methodology was used. The purpose was to elaborate a technological and constructive proposal to improve dwellings energetically. The tool used during the research was a dynamic simulation Energy Plus. Indicators are generated in this study that can be contrasted with other case studies.

Keywords: box-type house, energy audit, energy efficiency, comfort

Introducción

El desarrollo del estudio se enfoca en las problemáticas energéticas actuales relacionadas a la finitud de los recursos naturales y el calentamiento global, que es generado principalmente, debido a las emisiones de gases de efecto invernadero a partir de la quema de combustibles fósiles. La necesidad

¹ Arquitecta. Becaria CONICET. Docente UNLP.

² Arquitecto. Docente UNLP

³ Arquitecto

de controlar las emisiones de estos gases debe basarse en el control de la producción, la distribución y el consumo eficiente de este tipo de energía.

El consumo de energía en Argentina correspondiente al sector residencial constituye una incidencia significativa en la matriz energética nacional, con un consumo actual mayor al 23% del total del país (Balance Energético Nacional 2010). De esta demanda, el 50% se destina a climatización (Evans, 2005). Es por ello que se considera relevante actuar en la adaptación del sector, minimizando el uso de energía.

Se puede deducir, en relación a lo expresado anteriormente, que la Argentina cuenta con una serie de estudios y desarrollos en el campo del uso racional de la energía (URE) y su uso eficiente (UEE). Sin embargo, los programas de eficiencia han demorado en implementarse debido a la crisis socio-económica de finales de los años '90 y comienzo del año 2000. A finales del año 2007 fue lanzado el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONURE). Entre las premisas principales se pretende reducir la demanda energética a partir de aplicar cambios de horario estacionales, reducción del consumo eléctrico en la vía pública, desarrollo de estándares de eficiencia energética a la producción a partir de otorgamientos de créditos blandos del Banco Nación para la adquisición de equipos más eficientes, entre otras.

En correlato a esta problemática, en la provincia de Buenos Aires fue sancionada la Ley 13.059 (2003), promulgada por el Decreto 1.030 (2010 "Condiciones de Acondicionamiento térmico exigibles en la construcción de edificios"), dentro de la cual se plantea un mejoramiento de la envolvente para una mejor calidad de vida y disminución del impacto ambiental. El confort en las viviendas y la reducción de las emisiones se obtienen con la aplicación de las normas IRAM N°: 11.549, 11.601, 11.603, 11.605 (en su nivel "B"), 11.604, 11.625, 11.630 y complementarias: 11.507-1, 11.507-4, 11.559 y 11.564.

En función de lo dicho anteriormente, se ha trabajado en una metodología que aborda una auditoría energética integral con el fin de elaborar propuestas tecnológico-constructivas para el mejoramiento energético de la vivienda. A través de este trabajo se han generado indicadores que se podrán contrastar con otros casos de estudio.

Metodología

Con el objeto de analizar el comportamiento energético y ambiental de una vivienda urbana en la ciudad de La Plata se ha trabajado a partir de un estudio higrotérmico y energético para lo cual, como primera instancia, fueron desarrolladas nueve encuestas en viviendas con características diferentes, analizando las variaciones de uso y comportamiento interior de las mismas.

Posteriormente fue seleccionada una de ellas para la realización de una auditoría detallada a través de un estudio higrotérmico de la misma. El criterio de selección se basó en función de las posibilidades de accesibilidad a la vivienda y por ser una tipología tipo cajón característica de la ciudad de la Plata. La campaña de medición se llevó a cabo en dos períodos, invierno y verano, ubicando tres HOBOS interiores tanto en el sector diurno como nocturno para medir temperatura, humedad e iluminación; y un HOBOS exterior para tomar la temperatura y humedad. La radiación solar fue registrada por la estación meteorológica DAVIS ubicada en Gonnet. El intervalo de tiempo en la toma de datos se fijó cada 15 minutos en todos los HOBOS. Los datos obtenidos, tanto los auditados, registros de consumo y características de la vivienda fueron exportados al Excel como

herramienta de análisis y procesamiento para poder sacar conclusiones, obteniendo de esta manera el cálculo de indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos de la vivienda.

Paralelamente se desarrolló una simulación dinámica a través del programa Energy Plus y una simulación estática utilizando las Normas IRAM, con el fin de analizar el funcionamiento de la vivienda y poder compararlo con lo auditado verificando la ubicación exacta de los posibles problemas. Como complemento de este análisis se realizó el etiquetado energético del estado actual de la vivienda (IRAM 11900).

Por último, a partir del diagnóstico obtenido, se estableció un programa de mejoras en la envolvente de la vivienda con el fin de optimizar su comportamiento energético. A este programa de mejoras se le aplicó el mismo proceso de verificación que el anterior, para poder llegar a una conclusión final.

Localización geográfica

Según la zonificación bioclimática de la República Argentina (Norma IRAM 11.603, definida por la relación entre las variables meteorológicas y las condiciones deseables para lograr confort térmico en las distintas localidades), en la Provincia de Buenos Aires se establecen dos zonas y dos sub-zonas, con una situación de clima templado, Zona III- Templado Cálido: (IIIa-IIIb) y Zona IV-Templado Frío (IVc- IVd).

La ciudad de La Plata se encuentra ubicada dentro de la Zona IIIb “Templado cálido húmedo”, con una amplitud térmica menor a 14°C.

A continuación en la Tabla 1, se observan en forma anual, las horas del mes que se encuentran en confort o con necesidad de calefacción y/o enfriamiento, teniendo en cuenta que la temperatura durante todo el año ronda entre los 4°C y 28°C durante todo el año y la humedad entre 70% y 80%.

Tabla 1. Temperatura y necesidad bioclimática. Distribución de las temperaturas horarias

| MAPA DE CONFORT | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-------|------|
| HORA | COEF | TEMPERATURAS HORARIAS (°C) | | | | | | | | | | | | PROMEDIOS (°C) | | |
| | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | D-E-F | M-J-J | AÑO |
| 1 | 0.46 | 22.1 | 21.1 | 20.3 | 16.3 | 13.2 | 10.1 | 8.8 | 10.9 | 12.4 | 15.3 | 18.0 | 21.1 | 21.4 | 10.7 | 15.8 |
| 2 | 0.32 | 20.5 | 19.5 | 18.8 | 14.9 | 11.9 | 8.9 | 7.5 | 9.4 | 11.0 | 13.9 | 16.5 | 19.5 | 19.8 | 9.5 | 14.4 |
| 3 | 0.19 | 19.0 | 18.1 | 17.4 | 13.6 | 10.7 | 7.9 | 6.4 | 8.1 | 9.6 | 12.5 | 15.1 | 18.0 | 18.4 | 8.3 | 13.0 |
| 4 | 0.08 | 17.7 | 16.9 | 16.2 | 12.5 | 9.7 | 7.0 | 5.4 | 6.9 | 8.5 | 11.4 | 14.0 | 16.7 | 17.1 | 7.4 | 11.9 |
| 5 | 0.02 | 17.0 | 16.2 | 15.5 | 11.9 | 9.2 | 6.5 | 4.9 | 6.3 | 7.9 | 10.8 | 13.3 | 16.0 | 16.4 | 6.8 | 11.3 |
| 6 | 0.00 | 16.8 | 16.0 | 15.3 | 11.7 | 9.0 | 6.3 | 4.7 | 6.1 | 7.7 | 10.6 | 13.1 | 15.8 | 16.2 | 6.7 | 11.1 |
| 7 | 0.06 | 17.5 | 16.7 | 16.0 | 12.3 | 9.6 | 6.8 | 5.2 | 6.7 | 8.3 | 11.2 | 13.7 | 16.5 | 16.9 | 7.2 | 11.7 |
| 8 | 0.15 | 18.5 | 17.7 | 16.9 | 13.2 | 10.4 | 7.5 | 6.0 | 7.7 | 9.2 | 12.1 | 14.7 | 17.5 | 17.9 | 8.0 | 12.6 |
| 9 | 0.26 | 19.8 | 18.9 | 18.1 | 14.3 | 11.4 | 8.4 | 7.0 | 8.8 | 10.4 | 13.3 | 15.9 | 18.8 | 19.1 | 8.9 | 13.7 |
| 10 | 0.44 | 21.9 | 20.8 | 20.1 | 16.1 | 13.0 | 9.9 | 8.6 | 10.7 | 12.2 | 15.1 | 17.8 | 20.9 | 21.2 | 10.5 | 15.6 |
| 11 | 0.79 | 25.9 | 24.7 | 23.9 | 19.5 | 16.3 | 12.8 | 11.7 | 14.3 | 15.8 | 18.7 | 21.6 | 24.9 | 25.2 | 13.6 | 19.2 |
| 12 | 0.91 | 27.3 | 26.0 | 25.2 | 20.7 | 17.4 | 13.8 | 12.8 | 15.6 | 17.0 | 19.9 | 22.8 | 26.3 | 26.5 | 14.6 | 20.4 |
| 13 | 0.97 | 28.0 | 26.7 | 25.9 | 21.3 | 17.9 | 14.3 | 13.3 | 16.2 | 17.6 | 20.5 | 23.5 | 27.0 | 27.2 | 15.2 | 21.0 |
| 14 | 1.00 | 28.3 | 27.0 | 26.2 | 21.6 | 18.2 | 14.5 | 13.6 | 16.5 | 17.9 | 20.8 | 23.8 | 27.3 | 27.5 | 15.4 | 21.3 |
| 15 | 0.98 | 28.1 | 26.8 | 26.0 | 21.4 | 18.0 | 14.3 | 13.4 | 16.3 | 17.7 | 20.6 | 23.6 | 27.1 | 27.3 | 15.3 | 21.1 |
| 16 | 0.94 | 27.6 | 26.3 | 25.5 | 21.0 | 17.6 | 14.0 | 13.1 | 15.9 | 17.3 | 20.2 | 23.2 | 26.6 | 26.9 | 14.9 | 20.7 |
| 17 | 0.91 | 27.3 | 26.0 | 25.2 | 20.7 | 17.4 | 13.8 | 12.8 | 15.6 | 17.0 | 19.9 | 22.8 | 26.3 | 26.5 | 14.6 | 20.4 |
| 18 | 0.87 | 26.8 | 25.6 | 24.8 | 20.3 | 17.0 | 13.4 | 12.4 | 15.1 | 16.6 | 19.5 | 22.4 | 25.8 | 26.1 | 14.3 | 20.0 |
| 19 | 0.83 | 26.3 | 25.1 | 24.3 | 19.9 | 16.6 | 13.1 | 12.1 | 14.7 | 16.2 | 19.1 | 22.0 | 25.3 | 25.6 | 13.9 | 19.6 |
| 20 | 0.80 | 26.0 | 24.8 | 24.0 | 19.6 | 16.4 | 12.9 | 11.8 | 14.4 | 15.9 | 18.8 | 21.7 | 25.0 | 25.3 | 13.7 | 19.3 |
| 21 | 0.75 | 25.4 | 24.3 | 23.5 | 19.1 | 15.9 | 12.5 | 11.4 | 13.9 | 15.4 | 18.3 | 21.1 | 24.4 | 24.7 | 13.2 | 18.8 |
| 22 | 0.70 | 24.9 | 23.7 | 22.9 | 18.6 | 15.4 | 12.0 | 10.9 | 13.4 | 14.8 | 17.7 | 20.6 | 23.9 | 24.1 | 12.8 | 18.2 |
| 23 | 0.64 | 24.2 | 23.0 | 22.3 | 18.0 | 14.9 | 11.5 | 10.4 | 12.8 | 14.2 | 17.1 | 19.9 | 23.2 | 23.5 | 12.3 | 17.6 |
| 24 | 0.57 | 23.4 | 22.3 | 21.5 | 17.3 | 14.2 | 11.0 | 9.8 | 12.0 | 13.5 | 16.4 | 19.2 | 22.4 | 22.7 | 11.7 | 16.9 |

| | | |
|--|---------|----------------|
| | CONFORT | 18 a 24 °C |
| | FRÍO | menos de 18 °C |
| | CALOR | más de 24 °C |

Fuente Software G.E.GONZALO - Mayo 1997

Características de la vivienda auditada

La vivienda seleccionada se encuentra en un barrio residencial de la zona sur de La Plata, más precisamente ubicada en la calle 28 entre 64 y 65. Se trata de una construcción tipo “cajón” de la década del '50 construida bajo un crédito del estado y que actualmente fue refaccionada en su

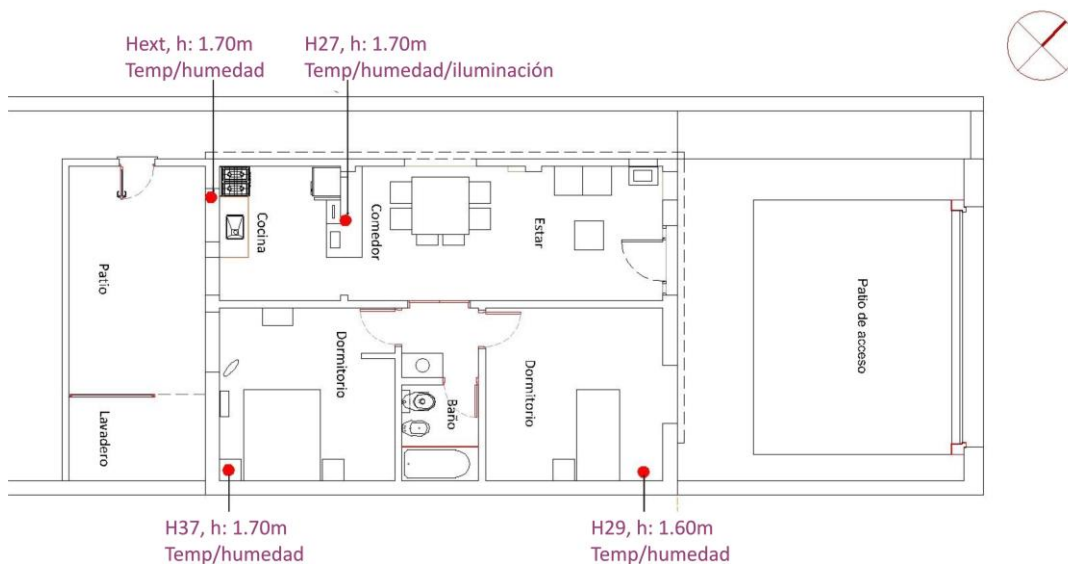
interior. La resolución tecnológica constructiva es propia de su época y categoría. Ha sido realizada con el sistema tradicional de construcción, compuesto por muros portantes sobre zapatas corridas de ladrillo macizo y cubierta de hormigón armado con carpinterías de perfilera ángulo de simple contacto, sin aislación térmica en ningún sector de la envolvente.

Se encuentra implantada en un lote urbano entre medianeras de 8.66 metros x 40 metros, compartido por dos viviendas en ph (propiedad horizontal), separadas a través de patios individuales. La vivienda analizada se ubica sobre frente del lote, retirada 6 metros de la línea municipal. Cabe destacar que el caso de estudio, tiene sus cuatro caras en contacto con el aire exterior.

La superficie interior de la vivienda es de 64 m² y se compone por dos zonas. Una zona nocturna de dormitorios, uno al frente (orientación NE) y otro al contrafrente (orientación SO), ambos separados por un baño. La zona diurna se compone por un espacio único que alberga la cocina (orientación SO) y el estar-comedor (orientación NE-SO).

El factor de ocupación de la vivienda se determina en un habitante. Cabe destacar que en verano ha sido utilizado el dormitorio 1 (NE) y en invierno el dormitorio 2 (SO) por causas personales del usuario.

Figura 1. Ubicación de los HOBOS en Invierno y Verano



Fuente: Figura realizada por el autor.

En la Figura 1 se puede observar la ubicación de los HOBOS en la vivienda tanto en la medición de invierno como verano.

Los HOBOS interiores se colocaron de la siguiente manera: el H29 en el dormitorio 1 (NE), el H37 en el dormitorio 2 (SO) y el H27 en el estar-comedor (NE-SO).

Previo a la colocación de los HOBOS en la vivienda, fueron tomados a través de la facturación, datos de consumos energéticos anuales tanto de gas como de electricidad. Estos datos han mostrado que el consumo diario promedio de la vivienda para gas natural es de 0.92m³/día y para electricidad de 1.15 kWh/día (Figura 2).

Los datos obtenidos, para poder compararlos, fueron pasados a toneladas equivalentes de petróleo (TEP). Esto ha determinado que para el caso de Gas Natural el consumo diario en TEP es de 0.0009 y

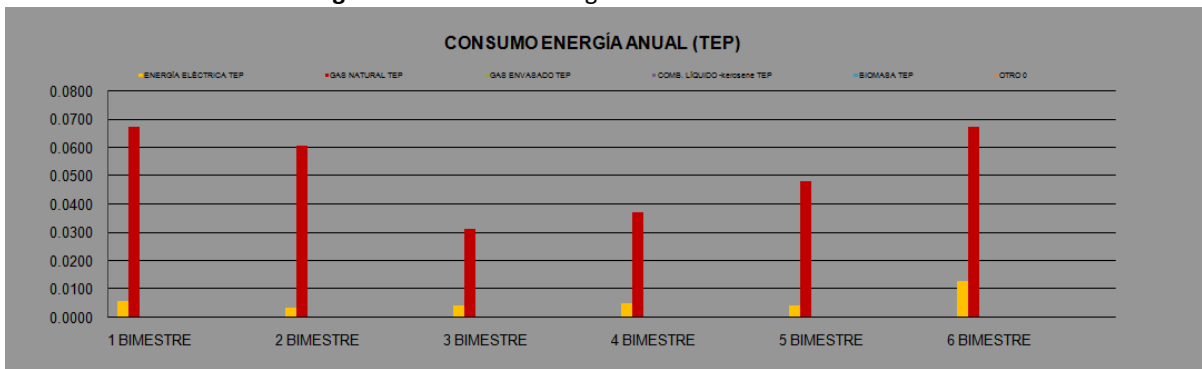
para el caso de la Electricidad es de 0.0001. En la Figura 3 se observa la comparación de consumos energéticos bimestrales en TEP.

Figura 2. Consumo de energía. Datos de facturación

| CONSUMO ANUAL | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|-------------|--------|------------|------------|---------|
| PERÍODO | | 2014-2015 | | DÍAS | | 365 | | FUENTE: | | | 1. Factura | 2. Empresa | 4. Otro |
| | | 1 BIMESTRE | 2 BIMESTRE | 3 BIMESTRE | 4 BIMESTRE | 5 BIMESTRE | 6 BIMESTRE | TOTAL | CONSUMO/DÍA | FUENTE | | | |
| ENERGÍA ELÉCTRICA | Kwh | 70 | 40 | 50 | 60 | 50 | 150 | 420.00 | 1.15 | 2 | | | |
| GAS NATURAL | m3 | 72.38 | 64.93 | 33.75 | 39.74 | 51.69 | 72.11 | 334.60 | 0.92 | 2 | | | |
| GAS ENVASADO | Kg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | - | | | |
| COMB. LÍQUIDO -keroser | Lts | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | - | | | |
| BIOMASA | Kg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | - | | | |
| OTRO | | | | | | | | 0.00 | 0.00 | - | | | |

Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 3. Consumos energéticos de la vivienda en TEP



Fuente: Figura realizada por el autor.

Resultados

Comportamiento higrotérmico en verano

El registro continuo de las mediciones para estudiar el comportamiento higrotérmico en verano se llevó a cabo mediante 3 HOBOS y fue realizado durante un período de 12 días corridos entre el 06/12/2014 hasta el 16/12/2014.

En la Figura 4 se observa la tabla de registro de los medidores con sus respectivos consumos de energía eléctrica y gas durante un lapso de 12 días corridos. Uno de los registros fue tomado al inicio del período, el 06/12/2014 y el otro, al finalizar la auditoría el 16/12/2014. Durante este período se consumieron 45 kWh de energía eléctrica, lo que corresponde a un consumo diario de 3,75 kWh/día. En el mismo período se consumieron 5,60 m³ de gas natural lo que corresponde a un consumo diario de 0,47 m³/día.

Figura 4. Registro de energía de los medidores en verano

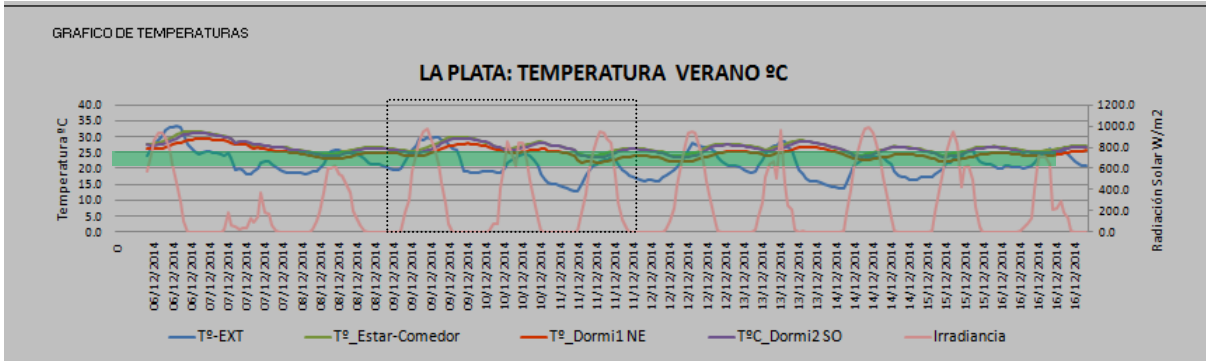
| REGISTRO ENERGÍA | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|---------|------------------|---------|--------|------|----------------|---------|--|--|---------------|-----------------|----------------|
| | MEDIDOR Nº: | PERÍODO | REGISTRO INICIAL | | | | REGISTRO FINAL | | | | CONSUMO DÍA 1 | CONSUMO PERÍODO | CONSUMO DIARIO |
| | | | DÍA | LECTURA | Hora 1 | Hora | DÍA | LECTURA | | | | | |
| ENERGÍA ELÉCTRICA: Kw | | 12 | 06/12/2014 | 34435.8 | 8 | 14 | 18/12/2014 | 34480.8 | | | 45.00 | 3.75 | |
| GAS NATURAL: M3 | | 12 | 06/12/2014 | 20227.3 | 8 | 14 | 18/12/2014 | 20232.9 | | | 5.60 | 0.47 | |

Fuente: Figura realizada por el autor.

En la Figura 5 se puede ver el gráfico de la evolución de la temperatura, donde se observa que durante el período estudiado no se han registrado temperaturas extremas propias de la estación estival.

La temperatura máxima exterior ha llegado a 29°C y fue registrada el día 9/12/14 a las 14hs y la mínima a 12,5°C el día 11/12/14 y fue registrada a las 4 de la mañana. Cabe aclarar que el primer día de auditoría la temperatura exterior llegó a 33°C a las 15 horas.

Figura 5. Evolución de la temperatura durante el período estudiado, (06/12/14 al16/12/14)



Fuente: Figura realizada por el autor.

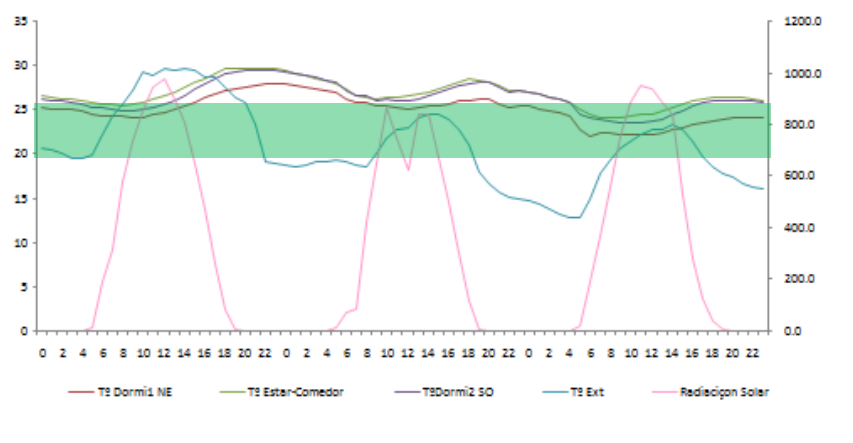
Se estudió un recorte de tres días seleccionados (Figura 6), desde el 9/12/14 hasta el 11/12/14 por haber sido los días con los picos de temperaturas máximas (29°C) como mínimas (12,5°C). El día 9/12 tuvo una temperatura exterior que llegó a los 29°C registrada a las 14hs mientras que la mínima llegó a 18°C a las 23 horas, llegando a una amplitud térmica de 11°C. Se puede observar cómo los próximos dos días han registrado descensos evolutivos, tanto de sus temperaturas máximas como mínimas, teniendo el día 10/12/14 una máxima de 25°C y mínima de 15°C llegando al día 11/12/14 al punto más bajo del período estudiado con una temperatura de 12,5°C y una máxima de 22°C.

Durante este período los espacios mayormente utilizados han sido el dormitorio NE y la cocina-estar-comedor, no habitándose el dormitorio orientado al SO. Se puede verificar cómo los tres ambientes de la casa se comportan de manera similar, adaptándose los tres a la variabilidad y a las diferencias de la temperatura exterior, aunque las curvas de las temperaturas interiores se encuentran por encima de la curva exterior, y sus amplitudes térmicas fueron menores en relación a la exterior.

También se observa cómo de los tres espacios se desprende con un rango menor de temperatura el único dormitorio que fue habitado durante este período y que corresponde al que está orientado al NE. Esta diferencia se acentúa durante los días de mayor radiación, llegando hasta los 3°C durante la tarde y noche. La curva de temperatura del dormitorio NE se fue aproximando a las dos curvas de los dos ambientes interiores cerca del mediodía.

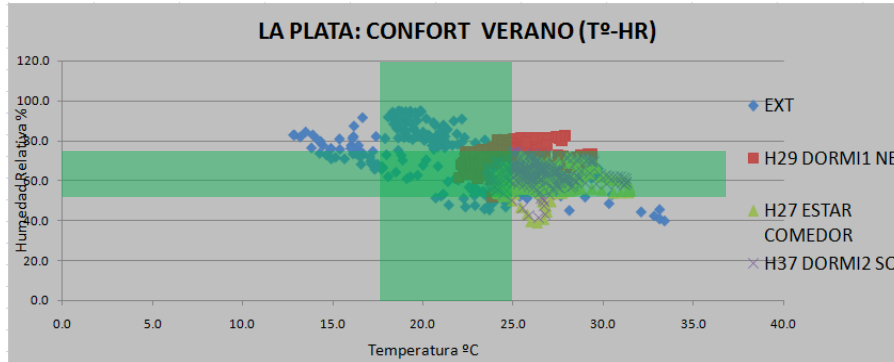
Se puede decir que sólo en un cuarto del período medido los ambientes interiores se encontraron dentro del rango de confort higrotérmico (18°C-25°C / 45%HR-75%HR) Figura 7.

Figura 6. Días seleccionados (09/12/14 al 11/12/15)



Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 7. Análisis del comportamiento higrotérmico del caso de estudio (8/12 al 10/12)



Fuente: Figura realizada por el autor.

Comportamiento higrotérmico en invierno

El registro continuo de las mediciones para estudiar el comportamiento higrotérmico en invierno se llevó a cabo mediante 3 HOBOS interiores, y fue realizado durante un período de 31 días corridos entre los días 17/6/2015 y el 18/7/2015.

En la Figura 8 se puede observar la tabla de registro de los medidores con sus respectivos consumos de energía eléctrica y gas natural durante un período de 31 días corridos entre el 17/06/2015 hasta el 18/07/2015.

El primero de los registros fue tomado el 17/06/2015 y el último registros tomado el 18/07/2015. Durante este período se consumieron 104,10 kWh de energía eléctrica, lo cual corresponde a un consumo diario de 3,36 kWh. En el mismo período se consumieron 32 m³ de gas, lo que corresponde a un consumo diario de 1,03 m³.

De la comparación diaria de consumos se puede decir que tanto en el de energía eléctrica de verano como en el de invierno los valores se mantienen semejantes, mientras que en el consumo de gas en invierno fue 120% mayor que en verano.

Figura 8. Tabla de registro de energía en el periodo invernal.

| REGISTRO ENERGÍA | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|--------|------------------|---------|----|----------------|------------|---------|---------------|-----------------|----------------|
| | MEDIDOR Nº: | PERÍOD | REGISTRO INICIAL | | | REGISTRO FINAL | | | CONSUMO DÍA 1 | CONSUMO PERÍODO | CONSUMO DIARIO |
| | | | DÍA | LECTURA | | DÍA | LECTURA | | | | |
| ENERGÍA ELÉCTRICA: Kw | | 31 | 17/06/2015 | 34868.3 | 10 | 15.3 | 18/07/2015 | 34972.4 | -34868.30 | 104.10 | 3.36 |
| GAS NATURAL: M3 | | 31 | 17/06/2015 | 22493.0 | 10 | 15.3 | 18/07/2015 | 22525.0 | -22493.00 | 32.00 | 1.03 |

Fuente: Figura realizada por el autor.

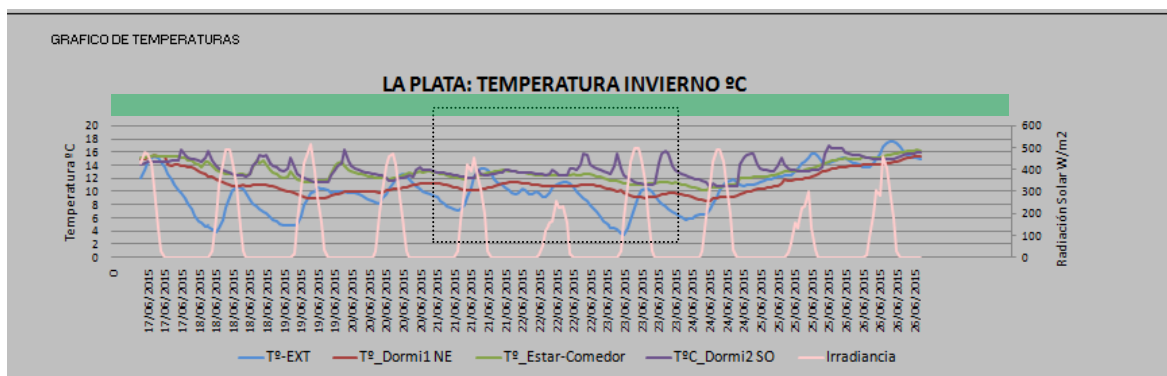
En la Figura 9, se puede ver el gráfico de la evolución de la temperatura, donde se observa que durante el período estudiado no se han registrado temperaturas extremas propias de la estación de invierno.

La temperatura máxima exterior ha llegado a 17,9°C registrada el día 26/06/15 a las 17hs, asociada al pico máximo de radiación. La temperatura mínima exterior durante el período ha sido de 3°C y fue registrada el día 23/06/15 a las 7 de la mañana.

En general se puede decir que las variaciones de las temperaturas interiores no son tan sensibles a los cambios de la temperatura exterior, ya que los saltos exteriores son mucho más pronunciados.

En ningún momento del período total en los ambientes interiores se alcanzaron los parámetros de confort térmico. Las temperaturas interiores han fluctuado entre los 9°C y los 17°C.

Figura 9. Evolución de la temperatura durante el período invernal estudiado, (17/06/15 al 18/06/15).



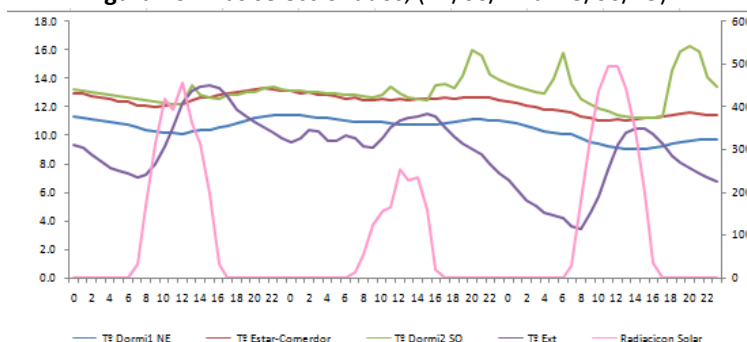
Fuente: Figura realizada por el autor.

Se estudió un recorte de tres días seleccionados (Figura 10) desde el 21/06/15 al 23/06/15. El mismo fue tomado por contener el día más frío con 3°C y la radiación más baja del período estudiado.

Se puede observar que en ningún momento los espacios interiores han logrado parámetros de confort. La máxima temperatura se registra en el único dormitorio utilizado como tal, con orientación SO, y ha registrado una temperatura máxima de 16,1°C entre las 20 y las 22hs, llegando a descender como máximo hasta los 11,1°C a las 14hs, relacionado con el momento en que no se ha usado sistema auxiliar de calefacción y la falta de radiación por orientación. En dicho dormitorio se logran las mayores amplitudes térmicas asociadas a los horarios de acostarse y levantarse del habitante.

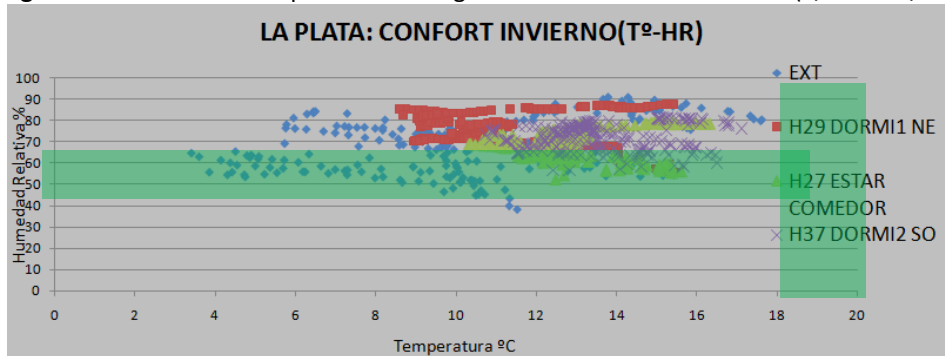
Los espacios orientados al NE han tenido fluctuaciones semejantes pero en rangos diferentes de temperaturas. El estar comedor, registrado por el HOBO 27, ha fluctuado entre los 11°C y los 13°, mientras que el dormitorio inutilizado, registrado por el HOBO h29 fue entre los 9°C y los 11°C.

Figura 10. Días seleccionados, (21/06/14 al 23/06/15)



Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 11. Análisis del comportamiento higrotérmico del caso de estudio (8/12 al 10/12).



Fuente: Figura realizada por el autor.

Análisis del sistema constructivo utilizado (Norma IRAM)

La tecnología de la envolvente analizada se conforma de los siguientes elementos: muro portante de ladrillo macizo sin aislación revocado en ambas caras con un $K = 1,86 \text{ W/m}^2\text{°C}$, cubierta plana de Hormigón Armado sin aislación con una transmitancia térmica ("K") de $2,07 \text{ W/m}^2\text{°C}$, aberturas con marcos y hojas de chapa doblada y vidrio simple con un $K = 5,82 \text{ W/m}^2\text{°C}$. (Norma IRAM Nº 11.601). El piso de la vivienda no cuenta con ningún porcentaje de aislación térmica.

Análisis del comportamiento energético de la envolvente (Norma IRAM 11604)

Para poder analizar el comportamiento energético de la envolvente de la vivienda, se utilizó el procedimiento de cálculo establecido por la Norma IRAM 11604. Este cálculo ha dado como resultado que las pérdidas volumétricas globales (G cálculo: $3,49 \text{ W/m}^3\text{K}$) a través de la envolvente son muy superiores al G admisible ($G_{adm}: 1,51 \text{ W/m}^3\text{K}$) establecido por la Norma. A través de este cálculo se pudo identificar también que los mayores porcentajes de pérdidas a través de la envolvente en orden de importancia se dan a través de los techos (33.09%), seguidos por los muros (31.53%), las infiltraciones de aire (17.94%), los cerramientos no opacos (9.38%) y por último los pisos (8.07%).

Por último se calculó la demanda energética para calefacción considerando una temperatura base de 18°C calefaccionando la vivienda 10 horas diarias con un total de 992 grados días de calefacción. El resultado Q para el volumen a calefaccionar de la vivienda (172.8 m^3) fue de **5982.74 kWh/año**.

Análisis higrotérmico y necesidad de demanda energética. Energy plus.

Teniendo en cuenta los resultados simulados por el Energy Plus, se pueden analizar los espacios, individualizando las zonas térmicas más críticas con respecto a la refrigeración o climatización de la vivienda para poder establecer soluciones en ellas, buscando diferentes alternativas que equilibren ambas cargas.

Tabla 2. Carga térmica necesaria para calefacción y refrigeración + energía necesaria por cada metro cuadrado de superficie cubierta de la vivienda

| SITUACION ACTUAL | Carga térmica Calefacción | Carga Térmica Refrigeración |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| ESTAR | 1998.9 | 1518.4 kwh |
| DORMI2 (SO) | 1448.8 | 577.3 kwh |
| DORMI1 (NE) | 1255.5 | 679.9 kwh |
| TOTAL | 4703.2 | 2775.5 kwh |
| Demanda energetica/m2 | 73.5 | 43.4 kwh/m2 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

En la Tabla anterior (Tabla 2) se muestran los valores de carga térmica necesarios para el Confort Higrotérmico de cada espacio y de la vivienda en su conjunto. Se obtuvo para la situación actual un consumo de calefacción por cada m² construido de 73,5 kwh/m², mientras que para refrigeración fue de 43,4kwh/m².

Etiquetado energético actual

Se procedió a realizar el etiquetado energético de la vivienda. El cálculo fue basado en la norma IRAM 11900 y arrojó como resultado que el sistema constructivo de la envolvente actual en relación con las temperaturas base de diseño, han ubicado a la vivienda de estudio, en la última categoría (H) del etiquetado energético para calefacción.

Análisis Sistema constructivo mejorado (Norma IRAM)

Teniendo en cuenta los resultados del comportamiento energético de la envolvente de la vivienda se propone un programa de mejoras en su tecnología constructiva basado en un diseño ambientalmente consciente (DAC).

El programa de mejoras ha contemplado la adición de poliestireno expandido de densidad 30 kg/m³ como aislación térmica tanto del techo (espesor 10cm) como de los muros en su parte exterior (espesor 3cm). Para el caso del techo se utilizó como medio de sostén del EPS y para lograr una mayor aislación térmica una capa de 15cm de ripiolita. Las aberturas fueron reemplazadas por carpinterías de aluminio con DVH y se ha establecido, según datos solicitados al fabricante de las mismas, un nuevo número de renovaciones de aire de n=0.56 (norma IRAM 11601).

Como resultado de las mejoras DAC propuestas se logró disminuir el G de la vivienda de 3.49 W/m³°C a 1.32 W/m³°C, cumpliéndose así con el G admisible que establece la Norma IRAM 11604 (Tabla 3).

A través de las mejoras DAC el Q de calefacción fue disminuido de 5982,74KWh/año a 2262.71 kWh/año significando esto un ahorro de un 38% en la demanda de calefacción.

Tabla 3. Comparación de las envolventes

| ENVOLVENTE CON DAC | | | ENVOLVENTE SIN DAC | | |
|--|-------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------|
| MUROS | | | MUROS | | |
| Capas | Espesor (m) | K (W/m ² °C) | Capas | Espesor (m) | K (W/m ² °C) |
| EPS | 0.030 | 0.69 | Revoque Exterior | 0.025 | 1.86 |
| Revoque Exterior | 0.025 | | Ladrillo Común | 0.300 | |
| Ladrillo Común | 0.300 | | Revoque Interior | 0.015 | |
| Revoque Interior | 0.015 | | | | |
| TECHOS | | | TECHOS | | |
| Capas | Espesor (m) | K (W/m ² °C) | Capas | Espesor (m) | K (W/m ² °C) |
| Ripiolita | 0.120 | 0.26 | Carpeta Hidrófuga | 0.025 | 2.07 |
| EPS | 0.100 | | Contrapiso | 0.120 | |
| Carpeta Hidrófuga | 0.025 | | Losa H°A | 0.150 | |
| Contrapiso | 0.120 | | | | |
| Losa H°A | 0.150 | | | | |
| ABERTURAS | | | ABERTURAS | | |
| Marcos, Hojas | Vidrio | K (W/m ² °C) | Marcos, Hojas | Vidrio | K (W/m ² °C) |
| Aluminio | DVH | 3.82 | Chapa doblada | Simple | 5.82 |
| G cálculo 1.32 W/m ² K | | | G cálculo 3.49 W/m ² K | | |
| G admisible Norma IRAM 11604 1.51 W/m ² K | | | | | |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Análisis higrotérmico y necesidad de demanda energética con mejoras en la envolvente. Energy plus.

Teniendo en cuenta los resultados simulados por el Energy Plus aplicando las mejoras en su envolvente, se pueden analizar los espacios y zonas térmicas verificando la reducción de energía necesaria para establecer el confort dentro de la vivienda.

Tabla 4. Carga térmica necesaria para calefacción y refrigeración para cada zona térmica con la envolvente optimizada + energía necesaria por cada metro cuadrado de superficie cubierta de la vivienda

| SITUACION MEJORADA | Carga térmica Calefacción | Carga Térmica Refrigeración |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| ESTAR | 1430.0 | 399.3 kwh |
| DORMI2 | 979.6 | 89.2 kwh |
| DORMI2 | 842.7 | 111.3 kwh |
| TOTAL | 3252.3 | 599.9 kwh |
| Demanda energetica/m2 | 50.8 | 9.4 kwh/m2 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

En la Tabla anterior (Tabla 4) se muestran los valores de carga térmica necesarios para alcanzar el Confort Higrotérmico de cada espacio y de la vivienda en su conjunto. Se han obtenido para la situación mejorada un consumo de calefacción por cada m² construido de 50,8 kWh/m², mientras que para refrigeración es de 9,4kWh/m².

Etiquetado energético con mejoras DAC

Se realizó un nuevo etiquetado energético de la vivienda con la incorporación de las mejoras en la envolvente, siendo posible pasar de una categoría H a una categoría C de la Norma (IRAM 11900).

Conclusiones

Este trabajo ha permitido realizar un análisis energético y ambiental en una vivienda y evaluar su comportamiento a través de mejoras constructivas en su envolvente.

Tomando la simulación dinámica, para lo cual se consideran no sólo pérdidas sino también ganancias se puede observar un ahorro del 58% tanto para calefacción como para refrigeración, como se ve en la Figura 12. .

Aplicando las mejoras en la envolvente a través de la simulación dinámica se puede observar un ahorro de 1450.8 kWh para calefacción y un ahorro de 2175.7 kWh para refrigeración. Teniendo en cuenta que la vivienda tiene un área de 64m² se observa una reducción de 22.77 kWh/m² para calefacción y de 34 kWh/m² para refrigeración. Estos indicadores se pueden utilizar para la evaluación de las mejoras de una vivienda “cajón” (siendo esta la tipología típica de la ciudad de La Plata) dentro de esta zona bioambiental (IIIb).

Por otro lado, se tomaron valores obtenidos durante el desarrollo del trabajo, donde se establecieron consumos diarios promedios para verano e invierno, tanto para energía eléctrica como para gas natural, a partir de datos reales tomados durante las dos campañas de medición. Para invierno se corresponden a un consumo diario de 3,36 kWh en energía eléctrica y un consumo diario de 1,03 m³ para gas natural. Mientras que para verano el consumo diario fue de 3,75 kWh en energía eléctrica y para gas natural de 0,47 m³. Si se extienden estos valores para todo el año, tomando la mitad de los días para invierno y la otra para verano, se obtiene un consumo promedio anual de energía eléctrica de 1.297,60 kWh y para gas natural de 273,75 m³. A partir de la simulación dinámica aplicando el programa de mejoras DAC se puede decir que el costo de la energía para climatización tanto para calefacción como para refrigeración se disminuye en un 58%. En este caso, ese porcentaje se corresponde al consumo de energía eléctrica, la cual es utilizada para climatizar la vivienda durante todo el año.

Es importante promover este tipo de intervenciones, debiendo formar parte de nuestra ética profesional, en pos de mejorar nuestra calidad de vida y el cuidado del medioambiente.

Bibliografía

Balance Energético Nacional 2010. Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación Federal, Inversión pública y servicios. Argentina. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>. Visto marzo, 2013.

Czajkowski, J. D.; Gómez, A. F. (1994). “Diseño bioclimático y economía energética edilicia. Fundamentos y métodos”. Colección Cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.

Norma IRAM Nº 11601. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico de edificios. “Propiedades térmicas de los materiales para la construcción. Método de cálculo de la resistencia térmica total”.

Norma IRAM Nº 11603/11604/11605. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico de edificios.

Norma IRAM 11900:2010. *Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Evans, John Martin (2005). “Energía en el hábitat construido: panorama en Argentina”. En libro: Los edificios bioclimáticos en los países de Ibero América. Libro de ponencias del seminario. Lisboa: Helder Gonçalves editor, pp. 100. ISBN 972-676-200-6.

Eficiencia Energética en Escuela Rural de Pellegrini, Santiago del Estero

Gabriela Giuliano¹, Beatriz Garzón²

Resumen:

El presente trabajo tiene como objeto estudiar el rediseño arquitectónico para la adecuación térmico-energética de una escuela rural en Santiago del Estero, Argentina; con el propósito de contribuir a mejorar las condiciones de confort de los usuarios de este hábitat educativo, a través del empleo racional de la energía convencional. Los resultados alcanzados fueron: 1) Definición de condicionantes geográficas y climáticas, 2) Determinación de estrategias y selección de pautas bioambientales, 3) Análisis arquitectónico- tecnológico del prototipo estatal, 4) Rediseño del prototipo para su ajuste bioclimático, 5) Evaluación térmico-energética y comparación con valores normados, 6) Etiquetados en ambas situaciones. Como conclusión, se observa que es factible mejora la eficiencia energética de un prototipo estatal a un nivel de etiquetado energético óptimo "C" modificando los componentes que definen su envolvente y mediante el uso de materiales y técnicas de construcción tradicionales, permitiendo así su adecuación bioambiental.

Palabras clave: Escuelas rurales, Eficiencia Energética.

Energy Efficiency in Rural School Pellegrini, Santiago del Estero

Abstract:

This paper aims to study the architectural redesign for the thermal and energy adequacy of a rural school in Santiago del Estero, Argentina; in order to improve the comfort conditions of the educational habitat users through rational use of the conventional energy. The results obtained were: 1) Definition of geographical and climatic conditions, 2) Strategies determination and bioenvironmental patterns selection, 3) Architectonic-technological analysis of the state prototype, 4) Prototype Redesign for bioclimatic adjustment 5) Energetic-thermal evaluation and its comparison with regulated values, 6) Energy labeling in both situations. In conclusion, it is noted that it is feasible improve the energy efficiency of the state prototype to an optimal level of energy labeling "C", changing the components that define the envelope and through the use of materials and traditional construction techniques, thus allowing its bioenvironmental adequacy.

¹ Instituto de Tecnología Aplicada (CESPER-ITA - FCyTE- UNSE-CONICET). Av. Belgrano (S) 1912. Santiago del Estero Capital, Argentina. CP (4200) -Tel/fax:+ 54-385-4509560. e-mail: cesper@unse.edu.ar

² Cátedra de Acondicionamiento Ambiental- AA I. (CONICET - FAU –UNT), Av. Néstor Kirchner 1900. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. CP (4000) Tel/fax:+ 54-381-4364093. e-mail: bgarzon@gmail.com

Keywords: Rural schools, Energy efficiency.

Introducción

Entre la enseñanza primaria y la secundaria, se estima que los estudiantes pasan unas 20.000 hrs en las escuelas. El ahorro de dinero en construcción, reforma o ampliación no tendría que ser determinante en el diseño de escuelas y de aulas; un principio general de diseño debería ser el de promover el desarrollo de la labor educativa en las mejores condiciones de habitabilidad, y seguridad; favoreciendo a la creación de un entorno saludable y óptimo para el aprendizaje y la participación de cada estudiante (Pauli, G.; 2011). En el caso de los niños, es un factor determinante en la motivación, interés, participación e integración la calidad de la infraestructura educativa; que además resulta de un punto de partida relevante en lo que se refiere a la igualdad de oportunidades y al mejoramiento de las condiciones de aprendizaje, y en particular de aquellos pertenecientes a los sectores sociales más desprotegidos. Con los docentes ocurre algo similar que con los alumnos, la apropiación del espacio y de los medios para que trabajen, constituye un inevitable primer paso que los sitúa (Flah, R., 2004). Numerosos grupos de investigación internacionales como (Mumovic et al., 2009; Almeida et al., 2015) han evaluado la calidad ambiental: térmica, acústica y del aire interior, en edificios escolares; donde comprobaron que en condiciones de confort el rendimiento cognitivo de los estudiantes se incrementa. En Argentina se ha analizado el consumo de energía en edificios escolares en distintas áreas geográficas- climáticas y las incidencias de mejoras tecnológicas (San Juan et al., 2000) y los estudios de diseño de protecciones solares de ventanas en escuelas de Mendoza (Pattini et al., 2009) y en Tucumán potenciando y favoreciendo iluminación natural (Gonzalo et al., 2006). Se realizaron auditorías higrotérmicas de registros de consumos y mediciones lumínicas en edificios educativos (Boutet et al., 2013). En el Colegio Secundario de Montaña “El Alfarcito”, de la provincia de Salta se diseñó la envolvente y los sistemas pasivos de colección solar que se instalaron para calentamiento de agua y calefacción; contribuyendo al ahorro de energía convencional (Hernández A. L., 2009). En la Pampa fueron proyectados y ejecutados diversos edificios escolares bioclimáticos, donde se controló el comportamiento térmico-energético mediante monitoreos en comparación con las simulaciones térmicas previamente realizadas; para la evaluación de temperaturas interiores y como se acercan las mismas a la situación de confort, según las distintas estaciones del año y en especial las críticas, donde se localizaron los establecimientos (Filippín et al., 2001). Hasta ahora, no existen antecedentes de escuelas con eficiencia bioclimática y energética en la provincia de Santiago del Estero. Por lo expresado anteriormente, el fin de la actual investigación es evaluar el comportamiento bioclimático y térmico- energético durante la situación crítica estival santiagueña, de un escuela primaria rural de tipología lineal elegida como caso de estudio y de su propuesta de rediseño arquitectónico con la mejora tecnológica de su envolvente, mediante diversos programas de cálculos, comparando los resultados en ambos casos y realizando sus etiquetados energéticos; para estimar particularmente en aulas, las condiciones de confort térmico y de ahorro energético respectivamente.

Objetivos

1. Analizar la disposición y la envolvente arquitectónica de un prototipo de escuela rural de producción estatal, en Santiago del Estero Argentina.
2. Proponer una alternativa de rediseño arquitectónico- bioclimático del prototipo.

3. Evaluar térmica y energéticamente los prototipos, realizando etiquetado de eficiencia energética, y comparando con los valores normados.

Metodología

Primero, se definen las condicionantes geográficas y climáticas de la localidad en estudio. Seguidamente se determinan las estrategias generales y seleccionan las pautas particulares, para la zona bioambiental donde se ubica la localidad de la escuela rural en análisis, según Norma IRAM 11603:1996 *“Clasificación Bioambiental de la República Argentina”*. Se realiza un análisis arquitectónico y tecnológico del prototipo estatal en su estado actual y desde su condición, se proyecta una propuesta de rediseño para su ajuste bioclimático. Luego se calculan los valores de transmitancia térmica para muros y techos en la condición verano del prototipo original y se lo compara con la Norma IRAM 11605:1996 de *“Valores máximos de transmitancia térmica”*; así se propone ajustes para los cerramientos de techos y muros en la composición y disposición de los materiales hasta lograr disminuir el valor de *“K”* para su mejora o verificar con el mínimo admisible. A continuación, se obtienen valores de cargas térmicas de refrigeración *“Q_R”*; y coeficientes volumétricos de refrigeración *“G_R”* de cálculo del prototipo original y el mejorado, verificando los avances y corroborando con valor de *“G_R”* admisible de la Norma IRAM 11.659 de *“Ahorro de energía en refrigeración”*. Seguidamente se utiliza la Norma IRAM 11.604:2001 de *“Ahorro de energía en calefacción”* con la cual se coteja las pérdidas de calor *“G”* calculadas con las admisibles de ambos prototipos y se calculan las cargas térmicas de calefacción anual *“Q”*. Finalmente se completa la evaluación térmico-energética con el etiquetado de ambas situaciones con el procedimiento indicado en la Norma IRAM 11900:2010 de *“Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios”*.

Resultados

1. Definición de condicionantes Geográficas y Climáticas

La escuela N° 757 (Fig. 1) se encuentra en la localidad de Quebrada Esquina a 30 km de la capital del departamento Pellegrini, ubicado al noreste de la provincia de Santiago del Estero. Esta localidad, pertenece a Zona Bioambiental “II-Cálida y subzona IIb, con amplitud térmica menor a 14° C”. Según clasificación bioambiental de la República Argentina (Fig. 2), Norma IRAM 11.603-2012.

Figura 1: Fotografías de la Escuela



Fuente: DGA de Santiago del Estero.

Figura 2: Ubicación Santiago del Estero, Zona Cálida IIb –Dpto. Pellegrini, Loc. Quebrada Esquina, Esc. N° 757



Fuente: Elaboración Propia.

El clima se caracteriza por un período estival muy cálido con las altas temperaturas y lluvioso entre los meses de octubre a marzo, en cambio la época invernal es seca, y registra temperaturas bajas (ver Tabla 1 y 2). Los vientos predominantes son de orientación “Noreste” desde Octubre a Febrero y viento “Sur” desde el mes de Junio a Septiembre.

Tabla 1: Datos geográficos de la zona

| ZONA BIOAMBIENTAL | ÁREA GEOGRÁFICA | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD |
|---|---|------------|------------|--------------|
| ZONA IIb: CÁLIDA Amplitud térmica <14 °C | Loc. Quebrada Esquina Dpto. Pellegrini | 26°11'60"S | 64°14'28"O | 260 m.s.n.m. |

Fuente: Norma IRAM 11.603-2012 y Elaboración Propia.

Tabla 2: Datos climáticos de la zona

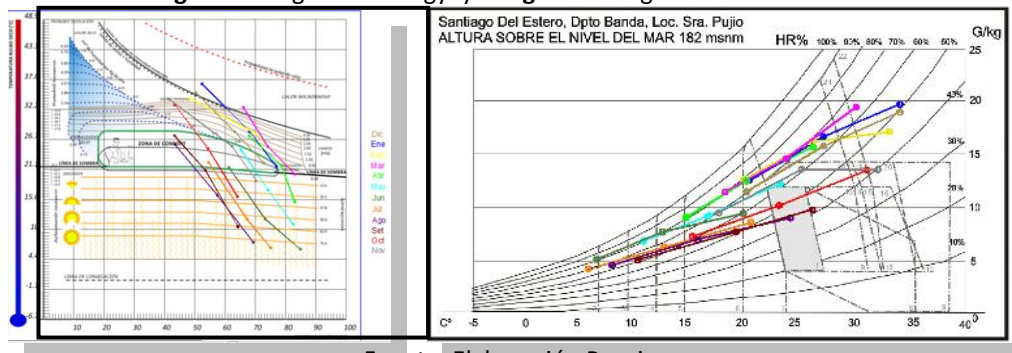
| DATOS CLIMÁTICOS | | | | | |
|--|-------------|-----------------------|--|--------------|------------------------|
| VERANO (DICIEMBRE) | | | INVIERNO (JULIO) | | |
| (T. Min. Med; HR Máx.) (T Med; HR Med) | | (T. Max. Med; HR Min) | (T. Min. Med, HR Máx.) (T Med; HR Med) | | (T. Max. Med- HR Min) |
| 20,1º ; 74% | 26,7ª ; 64% | 33,8ª ; 51% | 5,6 ºC ; 76% | 12,4ªC ; 68% | 20,5ª C ; 55% |

Fuente: Servicio meteorológico Nacional (1992)-Elaboración Propia

2-Determinación de Estrategias y Pautas Bioambientales

Para determinar las Estrategias Bioambientales, se usaron los diagramas “Psicrométrico” y de Olgay”. A partir de los datos climáticos mensuales de la localidad en análisis: valores de temperatura y humedad relativa, de valores medios máximos, medios mínimos y medios medios; se trazaron segmentos sobre ambos diagramas. De las metodologías empleadas se obtuvieron y consideraron aquellas con mayor porcentajes en relación a su alejamiento de la zona de confort (Garzón, B; 2006) (Figura 3 y 4).

Figura 3: Diagrama de Olgay **Figura 4:** Diagrama Psicrométrico



Fuente: Elaboración Propia

Se observa en diagrama de Olgay (Figura 3), que las estrategias de Ventilación y Calefacción para la época estival e invernal, tienen porcentajes similares del 45% y la zona de confort es solo en 15% aproximadamente. Esto demuestra la amplia zona de inconfort durante la mayor parte del año, siendo necesario adoptar estrategias generales y pautas particulares de diseño, que permitan brindar el máximo de confort interno con mínimo costo de energías convencionales. De la lectura de la carta Psicrométrica (Figura 4), se obtuvieron los porcentajes más significativos resultando dos estrategias primordiales a tener en cuenta: calefacción solar pasiva con 47,8% y enfriamiento natural 16,5%; siendo los más importantes para periodos de verano e invierno respectivamente, a continuación se eligieron las Pautas Bioambientales correspondientes a cada estrategia:

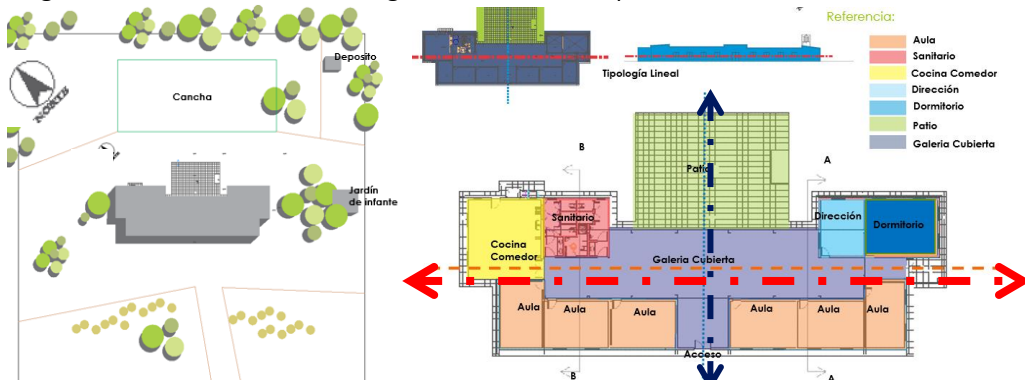
1. Estrategia de calefacción solar pasiva: Es una estrategia para aplicar en período de invierno; así el diseño del edificio debe favorecer a la captación, acumulación y distribución del calor. En este caso, se elige como adecuada la pauta de **“Ganancia directa por ventanas”**; y de **“Protección de Aberturas”** para controlar las pérdidas de calor.

2. Estrategia de enfriamiento natural: La ventilación natural es una estrategia para aplicar en período de verano y permite incrementar la sensación de confort al incidir sobre las personas. La pauta seleccionada para este caso es **“Ventilación cruzada”**.

3- Análisis arquitectónico- tecnológico del prototipo estatal

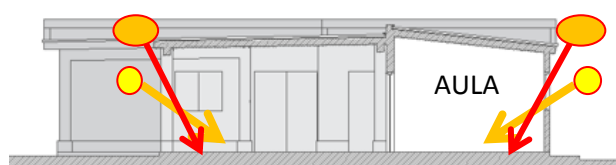
El edificio de la Escuela Nº 757, se implantó en el centro del terreno (Fig. 5). Se aprecia un esquema “lineal” con un eje principal donde aulas rectangulares y de diversas proporciones, se distribuyen en línea junto a las áreas de servicio y en forma simétrica en torno al eje transversal secundario. En cuanto al asoleamiento, la cantidad de superficie expuesta a la orientación noreste considerada “favorable”, es menor en comparación con la superficie expuesta a la orientación suroeste considerada “desfavorable” según Norma IRAM 11.603 que evalúa las orientaciones para cada zona bioclimática. El norte se encuentra a 45º en relación a la planta, con lo cual las aulas quedan orientadas en un eje SO- sudoeste. El patio se ubica en el interior del terreno en oposición al acceso principal, y junto con la circulación semicubierta y los servicios quedan hacia el NE-noreste (Fig. 6).

Figura 5: Ubicación en Terreno **Figura 6: Planta de Arquitectura con zonificación funcional**



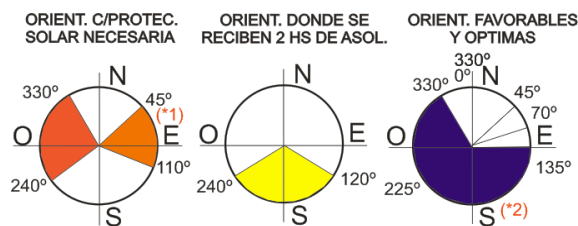
Fuente: Dirección Gral. de Arquitectura (DGA) de Santiago del Estero y Elaboración Propia.

Figura 7: Asoleamiento Corte A-A. Referencia: Invierno Verano



Fuente: DGA Santiago del Estero y Elaboración Propia.

Figura 8: Orientaciones recomendadas Zona II-Cálida.



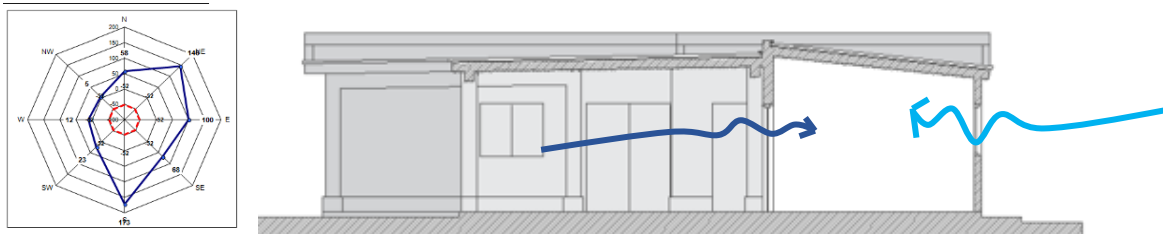
(*1) Protección Solar opcional (*2) Aberturas necesarias para ventilación cruzada

Fuente: Norma IRAM 11.603 [1] y Elaboración Propia.

No existen árboles, ni enramadas que arrojen sombra sobre los locales principales (Figura 5). La radiación incide directamente en las superficies verticales exteriores aumentando las ganancias térmicas al interior. Hay una galería que permite una circulación semicubierta como acceso común a todos los ambientes, que sombreen solo algunas paredes de ingreso a los locales (Figuras 6 y 7). Apenas un 25% de la superficie total de la escuela, se encuentra dispuesta hacia el cuadrante de orientaciones recomendadas por la normativa IRAM 11.603-2012 (Figura 8) que garantiza confort durante todo el año. Todas las aulas y los servicios cuentan con celosías de madera maciza en sus carpinterías, que pueden cerrarse o abrirse completamente sin permitir regularse según las necesidades de los usuarios, siendo posible corregir esta situación planteándose protección de parasoles de lamas horizontales y verticales móviles, para proteger del asoleamiento en los horarios críticos del periodo estival, pero permitir la explosión en invierno o cuando así se requiera.

Las aberturas en aulas permiten ventilación de los cuadrantes noreste-sur, en dirección a los vientos predominantes, sin embargo la ventilación no es cruzada (ver planta figura 6, solo aberturas en frente suroeste, no ambos frentes) por lo tanto la renovación de aire no es eficiente (Figura 9).

Figura 9: Rosa de Vientos (km/ h) Noreste en verano y Corte A-A; La ventilación en aulas no es cruzada, no había un barrido de aire eficiente.



Fuente: Centro de Estudios energía y medio ambiente -EIAA - FAU – UNT y DGA Sgo. del Estero.

Características tecnológicas de la envolvente.

El prototipo estatal fue construido mediante un sistema tradicional de sistema estructural puntual de columnas y vigas de hormigón armado y cerramientos verticales exteriores no portantes, de ladrillo macizo cerámico de 0,15m de espesor. La estructura de los techos, es losa de viguetas pretensadas y bovedillas cerámicas con cubierta de tejas sin aislamiento térmico y con cielorraso aplicado interior del tipo cementicio (Figura 10).

Figura 10: Cerramiento lateral (mampostería) y superior exterior (techo) de la Escuela



Fuente: DGA de Santiago del Estero.

4- Rediseño de prototipo estatal, para su ajuste bioclimático.

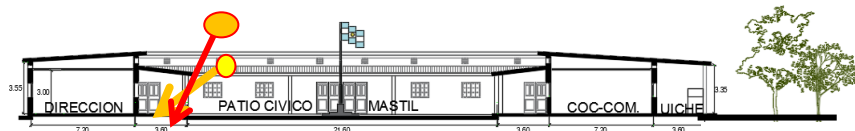
Se mantuvo el volumen en sector central del terreno, corrigiendo las dimensiones de las aulas para que posean todas idénticas medidas, de forma más óptima “cuadrada” según recomendaciones de *Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar* (Figuras 11 y 12). En la propuesta de ajuste bioclimático del prototipo se planteó girar el edificio, de manera que las aulas tengan mejor orientación en cuanto al asoleamiento “NE-noreste” con parasoles horizontales en los vanos y alero superior generando protección y una galería entorno al patio hacia el “SO-suroeste”. Con respecto a la configuración tipológica, el prototipo original es “lineal” y en rediseño se proyectó “central en U” entorno al patio. Este partido a diferencia del anterior, tiene la virtud de posibilitar el crecimiento futuro, con una circulación clara, continua y semicubierta. Además permite tener vistas directas desde cualquier punto hacia el patio cívico y el mástil, favoreciendo a la visión amplia del conjunto.

Figura 11: Planta de Implantación Prototipo Rediseñado **Figura 12:** Planta Arquitectura Prototipo Rediseñado



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13: Corte Longitudinal –Protección Asoleamiento. Referencia: Invierno (yellow arrow) Verano (red arrow)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14: Corte Transversal–Ventilación cruzada

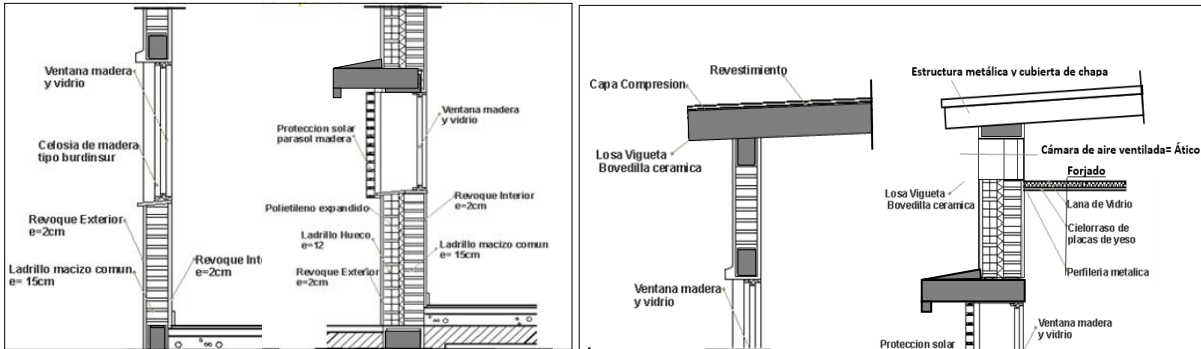


Fuente: Elaboración Propia

Las aulas mejoraron sus orientaciones, proporciones y dimensiones a las medidas reglamentarias de 7,2 x 7,2 m de eje a eje, con 52 m², al igual que los servicios (dirección - dormitorio docentes, núcleo sanitario y cocina-comedor). En relación a este último espacio de cocina –comedor, se ubicó un sector continuo, del tipo semicubierto para una unidad integrada de cocina-horno eficiente “UICHE” (Garzón, B.; Abregú, L. 2005), (ver Figuras 12, 13 y 14). En el espacio exterior, se propone tratar con vegetación diversa con uso climático y ornamental, protegiendo las fachadas de la radiación solar. En los elementos componentes de la envolvente, se rediseñó la composición de los cerramientos verticales exteriores; en busca de su mejora en el comportamiento térmico energético. A las paredes

de ladrillo macizo de 0.15 m se le incorporó hacia el exterior aislación de poliestireno y ladrillo cerámico hueco 0.12m. En cuanto a las aberturas de madera con protecciones de celosías, se propone cambiarlas por parasoles para sombrear las superficies de los vanos cuando así se requiera. (Figura 15). Al cerramiento superior de techo pesado de estructura de losa de viguetas pretensada con cubierta de tejas, se planteó modificarla a un techo liviano de estructura metálica de cubierta de chapa, con forjado (cielorraso suspendido) de placas yeso-cartón con aislamiento térmico de lana de vidrio de 50mm y ático o cámara de aire ventilada (Figura 15).

Figura 15: Detalle Muros Prototipo Estatal y Rediseñado– Detalle Techos de Prototipo Estatal y Rediseñado



Fuente: Elaboración Propia

5- Evaluación térmico-energética y comparación con valores normados

Transmitancia Térmica K (W/m².K)

Se calcularon los valores de transmitancia térmica de los cerramientos constructivos de muros y techo del prototipo estatal y del rediseño para condición de verano, por ser la más desfavorable para la zona. Se compararon los valores resultantes, en relación a los valores máximos de transmitancia térmica de muros y techos admisibles en Norma IRAM 11.605-1996 (Tabla 3).

Tabla 3: Valores de $K_{MAX ADM}$ (W/m².K) para la condición de Verano

| Zona Bioambiental | Nivel A (Recomendado) | | Nivel B (Medio) | | Nivel C (Mínimo) | |
|-------------------|-----------------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|
| | Muros | Techos | Muros | Techos | Muros | Techos |
| IIb | 0,60 | 0,19 | 1,25 | 0,48 | 1,80 | 0,76 |

Fuente: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Norma IRAM 11605:1996.

Tabla 4: Valores de K_{CAL} (W/m².K) para la condición de Verano

| Cerramiento Exterior | K_{cal} | $K_{max adm}$ | Conclusión |
|-----------------------------------|-------------|---------------|----------------------------|
| Muro Prototipo Estatal | 2.74 | 1,80 | No Verifica Nivel C |
| Muro Prototipo Rediseñado | 0,48 | 0,60 | Verifica Nivel A |
| Techo Prototipo Estatal | 1,14 | 0,76 | No Verifica Nivel C |
| Techo Prototipo Rediseñado | 0,46 | 0,48 | Verifica Nivel B |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3, se establecen tres niveles diferentes de condiciones de confort higrotérmico recomendados; los cuales corresponden en grado decreciente al A: Recomendado, B: Medio, C:

Mínimo.; verificándose una mejora en la elección de los elementos constructivos de los cerramientos de mampostería y techo del segundo caso (Tabla 4-conclusiones).

Cálculo de Gr y Carga térmica de Refrigeración-Norma IRAM 11.659

Mediante el programa de cálculo “TRANS-Q-E”, se pudo obtener y analizar los valores de coeficiente volumétrico de refrigeración G_R y la carga térmica de refrigeración de los dos prototipos en forma comparativa. Resultando, en la propuesta de rediseño una mejora en la reducción de la carga térmica (W), disminuyendo un 48%, en relación al prototipo original. En el primer caso se evidencia la necesidad de utilizar sistemas activos de ventilación mecánica por no cumplir con el valor de G_R admisible estipulado por la norma IRAM 11.659. (Tabla 5); en cambio en el prototipo propuesto se utilizará como complemento para optimizar la ventilación debido a la rigurosidad climática estival, verificada la necesidad mediante Carta Psicrométrica (Figura 4), donde resultó determinada: la estrategia bioclimática: “Ventilación Mecánica con un 3,6%”.

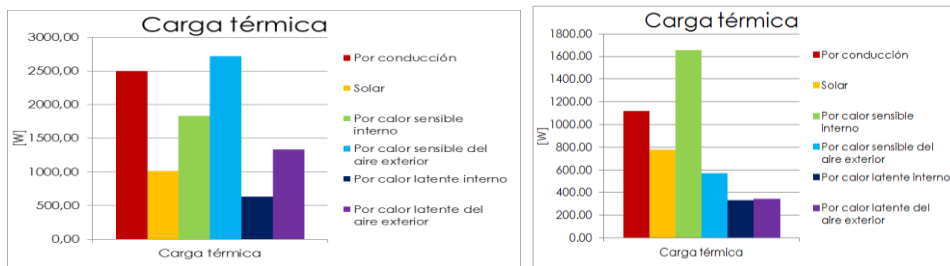
Tabla 5: Carga térmica del prototipo estatal (P.E) en comparación con prototipo propuesto (P.P)

| P.E-COEF. VOLUMETRICO DE REFRIGERACION (G_R) | | P.P-COEF. VOLUMETRICO DE REFRIGERACION (G_R) | |
|--|------------------|--|------------------|
| Carga térmica de Refrigeración (W) | 10.038,18 | Carga térmica de Refrigeración (W) | 4.794,63 |
| Volumen a refrigerar (m^3) | 91,50 | Volumen a refrigerar (m^3) | 155,53 |
| Coef. Vol. de refrigeración G_R (W/m^3) | 110.88 | Coef. Vol. de refrigeración G_R (W/m^3) | 30,83 |
| Coef. Vol. adm. de Refrig. $G_{R adm}$ (W/m^3) | 37,31 | Coef. Vol. adm. de Refrig. $G_{R adm}$ (W/m^3) | 31,39 |
| $G_R > G_{R adm}$ | No Verif. | $G_R < G_{R adm}$ | Si Verif. |

Fuente: Elaboración Propia

La disminución de la carga térmica de refrigeración (W) en la propuesta de rediseño es evidente en todos los items de análisis (Figura 16). Por ejemplo esto se debe, a una mejora en el nivel de aislamiento térmico de la envolvente, por lo cual disminuyeron las ganancias por conducción, así mismo al ajustar la protecciones solares de vanos se redujeron las ganancias por asoleamiento y con la optimización del sistema de iluminación, descendieron las ganancias por calor sensible interior.

Figura 16: Gráficos de Carga Térmicas, Prototipo Estatal y Rediseñado.



Fuente: Elaboración Propia -Programa TRAS-Q-

Coeficiente Volumétrico de Pérdida de Calor -Norma IRAM 11.604

La norma IRAM 11.604-2001 de *Aislación Térmica de Edificios*, permite evaluar los mismos con el objeto del ahorro energético en función del coeficiente volumétrico de pérdida de calor “ G_{cal} ”, que tiene en cuenta las pérdidas a través de cerramientos opacos y no opacos, en contacto con el terreno y renovaciones de aire de locales. Se utilizó el programa “TRANS-Q-E”, para el cálculo de coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor, de la carga térmica de calefacción y de la demanda de energía.

Puede observarse en el resumen de la tabla 6, que los valores obtenidos del cálculo del prototipo original no verifican, mientras que en el propuesto se logra optimizar el coeficiente considerado, en relación al valor admisible por la norma de referencia.

Tabla 6: Valores comparativos de G cálculo y G admisible en ambos prototipos

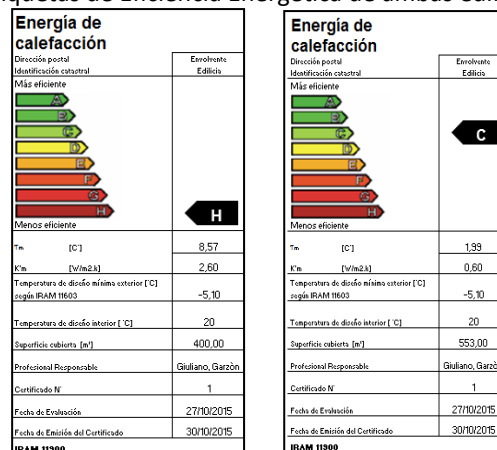
| P.E-COEFICIENTE VOLUMETRICO DE Pe. DE CALOR (G) | | P.P-COEFICIENTE VOLUMETRICO DE Pe. DE CALOR (G) | |
|---|------------------|---|--------------------|
| G= perd v. Transm + cap calorif x renov de aire | W/m³.k | G= perd v. Transm + cap calorif x renov de aire | W/m³.k |
| G _{cal} = | 4.744 | G _{cal} = | 1.384 |
| G _{adm} (IRAM 11.604)= | 2.099 | G _{adm} (IRAM 11.604)= | 2.099 |
| G_{cal} > G_{adm} | No Verif. | G_{cal} < G_{adm} | Si Verifica |

Fuente: Elaboración Propia

6- Etiquetado de Eficiencia Energetica -Norma IRAM 11.900

Mediante el programa de cálculo “EtiquEArq”, se pudo obtener el etiquetado del nivel de eficiencia energética de calefacción de ambos edificios escolares, el prototipo estatal y su propuesta de rediseño; según la transmitancia térmica de los elementos componentes de las respectivas envolventes, en relación a parámetros específicos en norma IRAM 11.900. La norma establece como temperatura interior de diseño 20°C. Especifica ocho clases de eficiencia energética, de acuerdo a la variación media ponderada de la temperatura (ζ_m), entre la superficie interior de la envolvente y la temperatura interior de diseño en grados Celsius. El prototipo estatal resultó, clasificarse en clase “H”, la de menor eficiencia mientras que el rediseñado mejora su eficiencia al tercer escalafón de clase “C” del grupo verde, de los de mayor u óptima eficiencia (Figura 17).

Figura 17: Etiquetas de Eficiencia Energética de ambas edificios escolares



Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

Considerando las condiciones descriptas del prototipo estatal, se evidenció la necesidad de proponer alternativas de nuevas soluciones, que permitan mejorar el confort higrotérmico de los usuarios del edificio escolar: niños, docentes y padres pertenecientes a la comunidad educativa de la localidad en estudio. Al definir las estrategias bioclimáticas consideradas para la zona bioambiental en análisis “IIb- Cálida”, se pudo seleccionar entre las pautas de diseño que se consideraron más óptimas para una producción del hábitat escolar con adecuación bioclimática al contexto, que mejor respondan a

necesidades térmico-energéticas, de ventilación, tecnológicas, entre otras. Las estrategias de diseño a nivel emplazamiento en el terreno, configuración morfológica y funcional, que se tuvieron en cuenta para la reformulación del prototipo dieron lugar a un partido compacto-central en “U” en torno al patio cívico. Se propuso mantener el plan de necesidades arquitectónico, rediseñar su forma, reubicar funciones y disposiciones tecnológicas en general, de manera de posibilitar el uso racional de la energía. Esto permitió asegurar la apertura al crecimiento futuro y que todas las aulas tengan las mismas posibilidades de asoleamiento, ventilación y protecciones. Se sombrearon las aberturas de la envolvente (N) mediante el uso de aleros y parasoles horizontales. Las superficies expuestas a las mayores cargas térmicas E y O, se trataron también con vegetación de hojas caducas. A nivel de su resolución tecnológica, el muro y techo del edificio escolar estatal no verificaba el nivel mínimo C de cálculo de transmisión térmica “K” ($W/m^2.K$) establecido por la Norma IRAM 11.605-1996; con la mejora de la elección y disposición de los elementos constructivos en la envolvente rediseñada, se produjo la disminución del valor de cálculo de “K”; que permitió verificar el nivel “B - medio” para el techo y “A- recomendado” para los muros; como indican los valores de referencia de norma IRAM 11.605. Con respecto al etiquetado de eficiencia energética en el caso del prototipo rediseñado se levantó al tercer nivel “C- óptimo”, mejorando cinco posiciones desde el último escalafón “H- deficiente” medido en el prototipo original; según valores establecidos por norma IRAM 11.900. Los nuevos cerramientos que se estudiaron hasta nivel de detalles constructivos, fueron conformados con el fin de disminuir las pérdidas y ganancias de calor en las diferentes estaciones del año, permitiendo colaborar en el ahorro energético para calefacción y disminuir el uso de sistemas activos para refrigeración. Este trabajo permitió idear un conjunto de pautas que podrán aplicarse en diseños de edificios escolares nuevos y que lograrán ahondar en mejoras para futuras reformas de edificios escolares en general y en particular de la Escuela N° 757 de Santiago del Estero. De esta manera, el aporte contribuye al propósito de optimizar las condiciones de confort en la habitabilidad y por consiguiente, de la calidad de vida en las comunidades escolares.

Bibliografía

- Almeida R.; Freitas V.; Delgado J. (2015) *School Buildings Rehabilitations. Indoor Environmental Quality and Enclosure Optimization*. Springer. Page 3. ISBN 978-3-319-15359-9
- Boutet M.; Hernández A.; Jacobo G. (2013) *Propuesta de optimización del comportamiento higrotérmico – lumínico, de un edificio escolar de la región N.E.A., a partir de monitoreo y simulación en período de otoño*. Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 1, pp.05.01-05.10, 2013. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5
- Filippín C.; Bescochea A.; Gorozurreta, J. (2001) *Comportamiento Higrotérmico y Energético de la Escuela Bioclimática de Catriló en la Provincia de La Pampa*. AVERMA, Volumen 5. ISSN 0329-5184.
- Flah R. (2004) *Escuela Móvil en Ámbitos Rurales*. Nobuko. Pág. 44. ISBN 9789871135806.
- Garzón, B.; Abregú, L. (2005). *Unidad integrada de cocina-horno eficiente “UICHE”*. Manual para la construcción y recomendaciones para usarla. Secretaria de Estado de desarrollo social de la provincia. San Miguel de Tucumán-Tucumán. ISBN 987-43-9069-7.

- Garzón, B.; Mendonca C. (2012). *TRANS-Q-E: Programa calculador de transmitancia, cargas térmicas de calefacción y refrigeración y consumos energéticos, según Normas IRAM 11601:2002, 11605:1996; 11604:2001, 11659.*
- Garzón, B.; Giuliano G. (2015). *EtiquEArq: Programa de Cálculo del Etiquetado de Edificios. Determinación del Nivel de Eficiencia Energética de Calefacción según normas IRAM 11.900.*
- Gonzalo G.; Ledesma S.; Quiñones G.; Márquez Vega G. (2006). *Diseño de ventanas unilaterales en aulas escolares de Tucumán.* AVERMA, Volumen 10. ISSN 0329-5184.
- Gunter Pauli (2011). *La Economía Azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos. Un informe para el club de Roma.* Editorial Tusquets. ISBN 9788483833049.
- Mumovic, D.; Crowther, J.; Stevanovic, Z. (2009) *Analysis of Local Concentration Gradients in a Complex Built Environment: Implications for Air Quality Management Areas.* The International Journal of Environment and Waste Management; Volumen 4, No. 1/2, pp. 140-155
- Normas: IRAM 11603:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.* Norma IRAM 11601:2002. *Aislamiento térmico de edificios, métodos de cálculo.* Norma IRAM 11605:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad en edificios.* IRAM 11604:2001. *Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción.* IRAM 11659. *Ahorro de energía en refrigeración.* IRAM 11900:2010. *Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios.* Instituto Argentino de Normalización.
- Pattini A.; Villalba A.; Córlica L.; Ferrón L.; del Rosso R. (2009). *Elementos de control de luz solar directa en fachadas vidriadas de edificios no residenciales de ciudad oasis. Rediseño para aulas.* Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 13, 2009. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- San Juan G.; Hoses S.; Gonzalez D.; Piñeyro J. (2000). *Evaluación Energética e Incidencia de Mejoras Tecnológicas en Tipologías Escolares Bonaerenses.* AVERMA, Volumen 4. ISSN 0329-5184.

Autores

Gabriela Giuliano es Arquitecta y Profesora en Educación Secundaria de la Modalidad Técnico Profesional y Becaria Doctoral CONICET- MinCyT- FCyTE- UNSE. gm.giuliano@gmail.com

Beatriz Garzón es Arquitecta, Doctora en Ciencias en el Área de Energías Renovables; Especialista en Gerencia y Vinculación Tecnológica; Investigadora Adjunta de CONICET; Directora de Proyectos de IAP. Docente-Investigadora Nivel II del MinCyT-MEN; Profesora Adjunta de la Cátedra de Acondicionamiento Ambiental II, IAA, FAU, UNT. bgarzon@gmail.com.

07. Patrimonio cultural y sustentabilidad

Observatorio para la Gestión Patrimonial de Territorios Rurales de Oasis Andinos

Luisa Mattioli¹, Eliana G. Testa², Ana V. Pochi³

Resumen:

Las comunidades rurales Andinas, por sus características territoriales, presentan tanto oportunidades como amenazas en escenarios actuales de grandes transformaciones, siendo un agravante la falencia o ausencia de leyes de uso del suelo, planes de ordenamiento territorial y planificación. Es objetivo de este trabajo, generar un modelo de Observatorio replicable a distintas áreas Andinas desde la visión integral del territorio para conocer el grado de transformación y vulnerabilidad, aplicado a la localidad de Las Flores Departamento Iglesia, Provincia de San Juan. La metodología parte del conocimiento del Patrimonio local para el estudio de la dinámica territorial y organizacional, procurando la gestión sustentable del territorio en un marco político institucional local. La capacidad de resiliencia estará dada principalmente por la asociación, cooperación, defensa y valoración patrimonial de la comunidad involucrada. Este observatorio se traduce como una herramienta para monitorear periódicamente diferentes procesos, generando propuestas apropiadas, “alertas tempranas” y difusión de alternativas.

Palabras clave: Patrimonio rural; sustentabilidad ambiental; gestión territorial.

Observatory for the Assets Management of Rural Territories Andean Oasis.

Abstract:

Andean rural communities, by its local characteristics, present both opportunities and threats in today's rapidly changing scenarios, aggravated for the failure or absence of laws of land use, land use plans and planning. It is objective of this work, generate a model Observatory, replicable to different Andean areas from a comprehensive vision to ascertain the degree of transformation and vulnerability, applied to the location of Las Flores, Iglesia Department, San Juan Province. The methodology of the knowledge of local assets for the study of the territorial and organizational

^{1, 2 y 3} Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa FAUD UNSJ). Calle Ignacio de la Roza 590 (O) Complejo Islas Malvinas CP: J5402DCS. Rivadavia, San Juan, Argentina. Tel/fax: +54-264-423-3259 interno ----. e-mail: administrador@faud.unsj.edu.ar

dynamics, ensuring sustainable land management at a local institutional policy framework. Resilience will be given mainly by the association, cooperation, and the defense and valuation of asset of the community involved. This observatory result as a tool to periodically monitor different processes, generating appropriate proposals, "early warning" and dissemination of alternatives.

Keywords: Rural assets; environmental sustainability; territorial management.

Introducción

El modelo de desarrollo y la lógica de mercado en Latinoamérica, presenta actualmente un gran desafío para las comunidades rurales -ante la inexistencia de planes de ordenamiento territorial y leyes sobre el uso del suelo rural- para frenar los procesos territoriales que provocan el agravamiento de disparidades y el deterioro ambiental y patrimonial. En base a los estudios realizados por el Observatorio Latinoamericano de Geopolítica, Ana Esther Ceceña, expone que todos puntos de observación y de manejo de poblaciones externos a nuestro territorio tienen el objetivo de garantizar el mantenimiento del capitalismo y garantizar la disponibilidad de todas las riquezas del mundo como base material de funcionamiento del sistema, asegurando el mantenimiento de las jerarquías y dinámicas de poder en la relación norte-sur (2014).

La magnitud y dinamismo del crecimiento de los territorios rurales de oasis Andinos, son resultado de políticas de integración determinadas en distintas etapas de gobierno, sumado a procesos de globales de transformación.

El departamento Iglesia en San Juan, cuenta con una riqueza patrimonial variada y valiosa que se ha mantenido en el tiempo asegurando sus valores, usos y costumbres, con una imagen rural dominante. Posee un paisaje natural imponente con recursos turísticos únicos. Iglesia evidencia distintos procesos globales como el turismo, la minería a gran escala y como principal factor de cambio, la consolidación del corredor bioceánico Central que atraviesa el poblado de Las Flores. Estas actividades que pueden favorecer a la economía, atribuyen el riesgo de deterioro del Patrimonio local. La falta de valoración de los propios habitantes hacia su patrimonio cultural, social, y ambiental empeora esta situación generando marginación y expoliación de sus recursos.

Las comunidades rurales Andinas, por sus características territoriales, presentan tanto oportunidades como amenazas en escenarios actuales de grandes transformaciones. Conociendo la fuerte presión que significan los procesos globales geopolíticos por la pugna ante los recursos naturales, (principalmente enfocados al sector energético, mineral y alimenticio) se plantea un nuevo modelo de Observatorio que parta del reconocimiento del patrimonio tanto natural como cultural de regiones de Oasis Andinas -por sus características específicas agroecológicas, culturales y ambientales- como motor del desarrollo sustentable.

La metodología parte del conocimiento del patrimonio local para el estudio de la dinámica territorial y organizacional con talleres participativos, encuestas y relevamientos periódicos, que procura el modelo de observatorio para la gestión sustentable del territorio. Esto establece niveles de vulnerabilidad y capacidad de resiliencia, insertos en un marco político institucional local y los diferentes niveles de organización.

Esa perspectiva se diferencia de la tradicional planificación u ordenamiento territorial, dado que no se enfoca a determinar las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas (FODA), sino que prioriza la comprensión de los fenómenos o procesos y la determinación de tendencias que enfrenta

el patrimonio como así también la dinámica territorial a modo de proponer alertas tempranas y consideraciones apropiadas. Entendiéndolo al territorio como un sistema complejo de interacción de procesos dinámicos, priorizando las relaciones entre procesos y la anticipación de resultados (García, 2006). De esta manera la visión parte desde la interacción con la comunidad que le da origen al patrimonio cultural, la cual corre los perjuicios de despojo, deterioro o inhabilitación de su patrimonio natural. Esta forma de abordar los procesos sobre el territorio no intenta ser un método que suplante los estudios de planificación u ordenamiento territorial, sino que por el contrario, los complementa. En este sentido se entiende que hoy, el mercado es el protagonista relevante en el marco global, pero a pesar de ello como expresa Hildenbrand, citado por A. Massiris (2007) hay tres cuestiones fundamentales que la lógica del mercado no resuelve y que son deberes del Estado. Por un lado, las decisiones de localización de las actividades que toman los agentes privados, en función de sus intereses, no conducen a ocupar el espacio y los usos del suelo que corresponden al interés colectivo. Por otro lado, que el mercado no incluye categorías territoriales sino que opera sobre la base de rentabilidades microeconómicas relativas lo que agudiza desequilibrios existentes y externalidades negativas. Por último que existen determinados bienes colectivos, que requieren una gestión eficaz, pero no deben estar sometidos a los mecanismos de dirección y regulación del mercado, porque dichos bienes no son accesibles a precios de mercado; como el caso de la distribución geográfica de infraestructuras (rutas, agua, energía) o los equipamientos y servicios de salud y educación, o la preservación y desarrollo de espacios libres y públicos. Se suma a lo anterior, la necesidad de proteger, de los mecanismos de regulación del mercado, a los bienes patrimoniales estratégicos que forman parte de la cultura local.

“Los países latinoamericanos experimentaron diversas opciones de planificación tanto sectoriales como plurisectoriales. Se pueden mencionar por ejemplo: la planificación regional, el urbanismo, la planificación económica y la ambiental, que evolucionaron de a poco hacia la ordenación del territorio” (Pérez & Fernández, 2014, pág. 32). De esta manera considerando los plazos de ejecución y costos que conlleva generar procesos de planificación u ordenamiento territorial sumado a que en gran medida los enfoques están liderados por el subsistema económico, se concluye que es necesario tomar medidas cautelares. Dicho esto y frente a la aceleración de los cambios producidos, es importante establecer mecanismos de defensa y protección que aseguren el porvenir de las comunidades rurales involucradas. Los territorios rurales, son los que enfrentan a nivel nacional los mayores costos debido a que la descentralización y las inexistencia en muchos casos de cartas orgánicas en diferentes municipios (por no contar con una cantidad poblacional impuesta), perjudica la toma de decisiones locales y radica de mejor manera intereses externos al territorio (Mattioli, 2015).

Como resultado relevante se demuestra que la aplicación del método es factible, priorizando la concientización de la comunidad de sus propios recursos haciendo que se reduzcan los tiempos de protección, conservación y defensa del patrimonio. Reconociendo y valorando el patrimonio desde la comunidad que le da origen, es posible hacer frente al riesgo y oportunidad que ofrece la globalización a las comunidades andinas en relación al desarrollo.

Como conclusión, la base del desarrollo comunitario rural, debe ser endógeno (que parta desde adentro hacia afuera y no a la inversa), influenciado por la relación entre cultura, identidad cultural y patrimonio como ejes articuladores del desarrollo social. La comunidad se presenta como una *“unidad social portadora de cultura, identidad, tradiciones, creencias y valores propios que le*

aseguran tener sentimiento de arraigo o conciencia de pertenencia al espacio geográfico que ocupan" (Gregorio, 2011).

La cultura y la organización comunitaria se presentan como factores fundamentales para brindar equidad y bienestar general por encima de los intereses particulares locales como externos, así como también el respeto de los valores y costumbres de la sociedad. Los procesos participativos pueden lograr vencer los intereses en juego sobre el territorio en cierta medida, sólo si se anticipa a la sociedad de los efectos y causas que provocan los procesos principalmente externos sobre territorios vulnerables e históricamente marginados. Es por ello que los escenarios tendenciales demuestran la rápida lectura a futuro que promueve en mayor medida la concientización. El ámbito académico no sólo es un intermediario que logra la alerta temprana sino que también promueve la movilización de todos los sectores y principalmente las minorías quienes poseen debilidad decisional.

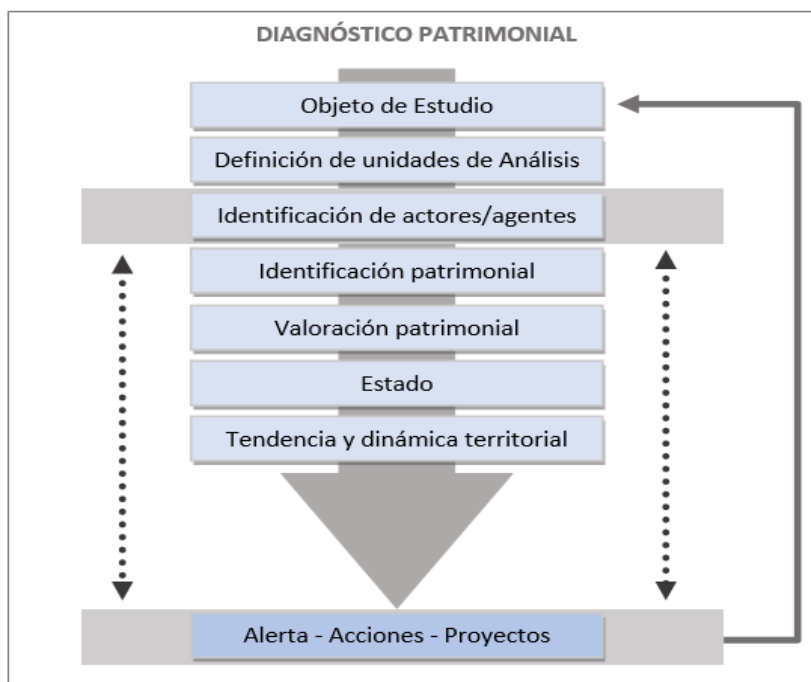
Objetivo General

- Exponer un modelo o estructura de Observatorio Patrimonial que pueda ser replicable a distintas áreas Andinas, para conocer el grado de transformación y vulnerabilidad local, comprendiendo el territorio desde una visión integral.

Metodología

El modelo generado plantea diferentes fases tendientes al conocimiento de la realidad del objeto de estudio. Las mismas componen el diagnóstico patrimonial y se abordan desde una retroalimentación continua. Esto representa una herramienta de seguimiento y evaluación constante sobre el territorio para evidenciar cambios y transformaciones. Las diferentes fases se identifican en la Figura 1:

Figura 1. Esquema del modelo de Observatorio Patrimonial.

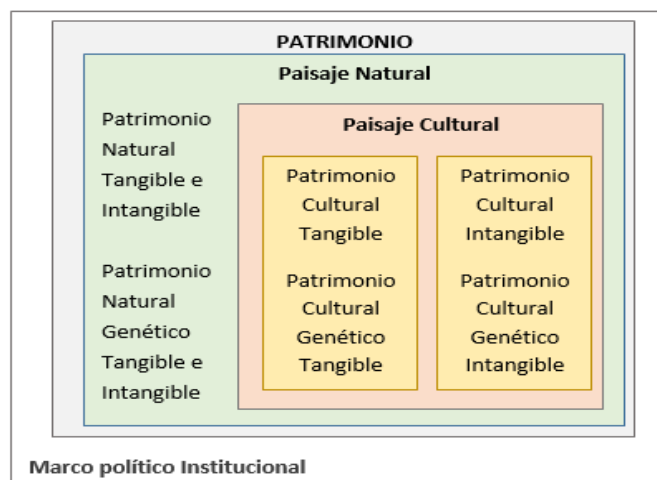


Fuente: Figura realizada por el autor.

A continuación se procederá a explicar las diferentes fases expuestas:

1. **Determinación del objeto de estudio:** la localidad de Las Flores, ha sido determinada desde la visualización estratégica que dicha área representa para el Departamento de Iglesia. Se aborda desde el enfoque de complementariedad de oasis- secano para establecer relaciones y el recorte espacial según metodología utilizada en el Proyecto de Macrozonificación de Malargüe (Nozica, Taber, Arroqui, & Fernandez, 2009).
2. **Definición de diferentes Unidades de Paisaje:** se realiza a los fines de identificar las posibilidades de utilización de los diferentes recursos identificando rasgos identitarios de diferentes áreas dentro del objeto de estudio para facilitar la organización, toma de decisiones y relaciones comunitarias. La multiplicidad de usos del suelo, la diversificación de tipos de patrimonio tanto cultural como natural, la accesibilidad, tipos de paisaje, tipos de suelo, vegetación, geomorfología, entre otras serán las variables que determinarán las características de identificación entre ellas como las potencialidades. Dentro de las unidades de Paisaje Natural se encuentran las Unidades de Paisaje Cultural en su relación biunívoca. Estas pueden separarse a los fines del análisis pero el entendimiento se traduce desde la noción de que el *"paisaje cultural es creado por un grupo cultural a partir de un paisaje natural"* (Galimberti, 2013).
3. **Identificación de actores/agentes:** Por medio del relevamiento del área de estudio, se identifican los distintos actores sociales, actores claves y agentes del territorio traducándose en un mapa de actores a través de metodología adaptada en base a "Stakeholder Identification" según Participation and Social Assessment: Tools and Techniques de Rietbergen-McCracken, Jennifer; Narayan, Deepa (1998). Se definen por medio de esta herramienta actores sociales, aquellos que son claves (ya sean que participan de manera positiva o negativa en el proceso) y aquellos que se comportan como agentes, los cuales representan los verdaderos conductores del desarrollo.
4. **Identificación Patrimonial:** En forma conjunta a la fase anterior se releva los distintos patrimonios que representan a la comunidad local generando el fichaje correspondiente a cada categoría. Se identifica siguiendo la estructura patrimonial de la Figura 2 e identificando diferentes variables para cada uno de los tipos de patrimonios relevados:

Figura 2. Modelo de clasificación patrimonial.



Fuente: Figura realizada por el autor.

- 5. Valoración patrimonial:** Se realiza luego del relevamiento, por medio de variables cuantitativas, que determinan una valoración tanto social como científica del recurso patrimonial (Ver tabla 1). De la síntesis de ambas valoraciones se destacarán los recursos de mayor puntuación, “patrimonio estratégico local”, que define principalmente la identidad cultural del área de estudio y las comunidades afectadas. En palabras de Marina Waisman, “*a ningún objeto puede asignársele o reconocérsele valor o significado, (...) sino es en relación con un grupo humano*” (Waisman, 1993, pág. 123).

Tabla 1. Variables de Valoración Patrimonial.

| | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| INTERES HISTORICO / CULTURAL | Época de creación |
| | Evolución |
| | Antecedentes |
| INTERES ARTISTICO/ ARQUITECTONICO | Morfológico/Tipológico |
| | Materialidad |
| | Espacialidad(Proporciones) |
| | Funcionalidad (relaciones) |
| | estilo |
| | Equipamiento |
| INTERES PAISAJISTICO/ AMBIENTAL | Implantación |
| | Accesibilidad |
| | Relación entorno inmediato |
| | Uso del área |
| | Suelo |
| | Sismo |
| | Clima |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

- 6. Estado:** Responde a la circunstancia, realidad y procesos intervinientes por categoría de análisis que surge de la valoración patrimonial para cada tipo de patrimonio. A continuación se muestra un ejemplo de matriz que simplifica de manera general el estado total del patrimonio estratégico local (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Procesos determinantes para la evaluación de tendencias y alertas tempranas.

| PATRIMONIO/PERIODO | | OBSERVACION | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------|------------|------------|---------------|
| | | 1600 - 1880 | 1880- 1990 | 1990- 2005 | 2005 - ACTUAL |
| PATRIMONIO NATURAL | RECURSOS | | | | |
| | FACTORES EXTERNOS | | | | |
| PATRIMONIO MATERIAL | RECURSOS | | | | |
| | FACTORES EXTERNOS | | | | |
| PATRIMONIO INMATERIAL | RECURSOS | | | | |
| | FACTORES EXTERNOS | | | | |

TENDENCIAS

SISTEMA ALERTAS TEMPRANA

Fuente: Tabla realizada por el autor.

7. **Tendencia y dinámica territorial:** Una vez determinados los procesos que están afectando en distinta manera a los distintos tipos de patrimonio es posible determinar líneas prioritarias de acción para establecer prioridades. De esta manera se podrá visualizar ampliamente lo que está sucediendo en el territorio atendiendo al contexto temporal y espacial de los mismos. La tendencia se visualizará en función a distintos escenarios futuros de no tomarse los recaudos necesarios. Se trabaja con tres escenarios que diferencian distintos niveles: el menos apropiado para el sector, el de nivel medio o probable y un tercero, el cual representa el escenario óptimo.
8. **Alerta - Acciones - Proyectos:** En relación al punto anterior se presenta una cartera de proyectos que estarán directamente relacionados al punto número 3, debido a que se deben coordinar con los actores y agentes del territorio. Esta etapa incluye la elaboración de talleres participativos, cooperación y propuesta conjunta de proyectos, gestión, y manejo de los recursos patrimoniales teniendo en cuenta el marco normativo vigente. La asociación entre actores y cooperación, son factores imprescindibles para responsabilizar a la comunidad sobre la conservación del patrimonio. En este sentido, la participación puede legitimar el proceso de toma de decisiones no sólo a nivel comunitario sino público, pudiendo acceder a nuevas formas de defensa y protección patrimonial como también nuevas normativas que puedan surgir del debate.

La organización comunitaria en relación a la dinámica territorial, en sus diferentes niveles, podrá establecer el grado de vulnerabilidad y capacidad de resiliencia.

El Observatorio resulta una herramienta metodológica para monitorear por medio de la recolección periódica de datos el conocimiento de los procesos de transformación por ello se plantea en forma de retroalimentación continua como un proceso bucleico. Se logrará así dar respuestas adecuadas al sitio, lo que se evolucionará en “alertas tempranas” frente a la ocurrencia de hechos.

La función final de un observatorio es informar a los diferentes agentes políticos, sociales y culturales. Es en definitiva un medio de comunicación entre el territorio y sus habitantes.

El objetivo planteado entonces, se lleva a cabo, generando un sistema (estructura de análisis) que alerta, ordena y estimula la organización comunitaria, además de establecer los lineamientos para el desarrollo del territorio. La puesta en valor del importante Patrimonio Rural y sus potencialidades, requieren de gestiones y acciones relevantes. No hay que olvidar por eso, la necesidad de cambio, transformación, adaptación, nuevos hábitos, etc., que el hombre necesita e incorpora. Esto se indica, ya que no debe ser una meta, la preservación o paralización de situaciones urbanas, edilicias, culturales y naturales. De este modo se propone hallar un equilibrio entre protección, preservación de la identidad y cambios (Waisman, 1993).

Este planteo sin llegar a ser un instrumento político como el Ordenamiento Territorial o un plan de desarrollo, pretende captar las necesidades de los actores, fortalecer las unidades de asociación, procurar mejores relaciones comerciales y laborales en relación a nuevas formas de cooperación que fortalezca lazos en pos de un bienestar comunitario. Los encadenamientos locales y la lucha por la defensa patrimonial local y de su comunidad, lograrán nuevos ámbitos de actuación en la medida que se presenten los cambios en el territorio.

Resultados

Como resultado relevante se demuestra que la aplicación del método, no sólo disminuye los tiempos de protección, conservación y defensa del patrimonio sino que logra -por más que no se puedan traducir a acciones concretas- la concientización de la comunidad de sus propios recursos y la visualización de los mismos desde otra mirada. En palabras de Cavieri (2001) "desde adentro", puede decirse que es notable cómo desde la cultura, desde los orígenes se puede afrontar el riesgo y oportunidad que ofrece la globalización a las comunidades andinas en relación al desarrollo.

Por otro lado es posible identificar las verdaderas trabas locales que impiden o perjudican la defensa patrimonial, también traducidas en problemáticas e individualismos que destruyen la cohesión social y la ayuda mutua.

La aplicación en el Departamento de Las Flores, representa un caso donde confluyen muchos intereses globales y grandes sectores de poder, pero la acción comunitaria puede vencer ciertas barreras desde la unión y cooperación como la asociación en cooperativas.

Esta aplicación permite evidenciar que los procesos asociados al turismo principalmente como también el corredor bioceánico central (que conecta la región de Coquimbo, Chile con Portho Alegre, Brasil) y la minería a gran escala, representan los grandes desafíos en la disputa sobre los usos del suelo y principales factores de deterioro patrimonial.

De igual forma este Observatorio Patrimonial aplicado a la localidad de Las Flores demuestra resultados satisfactorios en la gestión de algunos bienes patrimoniales lo que no implica que pueda reproducirse y ampliarse continuamente en pos de obtener mayor resistencia territorial.

Actualmente existen grandes posibilidades de concreción de proyectos en la medida que la institucionalidad se involucre con la comunidad. Pero existen ciertas dificultades, como la falta de leyes que regulen los usos del suelo, la imposibilidad del Departamento de poseer carta orgánica, que dicte sus propias leyes como también los conflictos entre actores y los plazos de ejecución. Hace que el proceso principalmente turístico, busque rentabilidades antes que la inserción criteriosa en el medio, marcando una creciente tendencia al deterioro. Por otro lado, el desprestigio de saberes

ancestrales y recursos de gran valor patrimonial, como la exclusión de la comunidad en su propio desarrollo, son motivos que exponen un escenario futuro poco promisorio. De este modo, se necesita tomar medidas y decisiones a nivel territorial de envergadura que impliquen la integración territorial con las demás Unidades de Paisaje Naturales y Culturales.

Este observatorio resulta una herramienta válida para monitorear periódicamente diferentes procesos, generando propuestas apropiadas, “alertas tempranas” y difusión de alternativas. De esta manera el espacio académico científico sirve como intermediario entre la sociedad y la cultura que ésta genera, procurando un sistema de respuesta ante los cambios que suceden para reducir los tiempos de reacción o resiliencia del territorio.

Conclusiones

Las transformaciones que se generan alrededor de los nuevos usos del suelo, se crean por la presencia de nuevas dinámicas de movimiento tanto de la población, la producción, la economía, etc., creando nuevas necesidades. En la mayoría de los casos, el objetivo es el lucro económico sobre las tradiciones y costumbres, poniendo en riesgo la identidad de los habitantes y su herencia cultural. Es por ello que la preservación y participación de las comunidades resulta esencial en la gestión de paisajes culturales.

Metodológicamente, el Observatorio Patrimonial contempla distintas fases de aproximación que llevan al entendimiento del sistema. Si bien no se erradicaran las causas de los procesos, se puede aminorar el deterioro y la expoliación producida principalmente por procesos globales al concientizar y empoderar a la comunidad.

Es factible entonces, generar alertas tempranas y frenar procesos de deterioro o transformación territorial en la definición de estos instrumentos. El Observatorio Patrimonial se presenta como complementario a la planificación y al ordenamiento territorial, ante los costos y plazos que ellos requieren, para efectivizar acciones concretas ágiles como también políticas adecuadas al bienestar social.

Lograr la conservación y el manejo equitativo de recursos locales sólo es posible mediante la cooperación y la asociación comunitaria en la defensa por su patrimonio. De aquí deriva la importancia de la identidad como valor potencial de desarrollo.

La cultura y la organización comunitaria se presentan como factores fundamentales para brindar equidad y bienestar general por encima de los intereses particulares locales como externos, así como también el respeto de los valores y costumbres de la comunidad. Los procesos participativos pueden lograr vencer los intereses en juego sobre el territorio en cierta medida, sólo si se anticipa a la sociedad de los efectos y causas que provocan los procesos principalmente externos sobre territorios vulnerables e históricamente marginados. Es por ello que los escenarios tendenciales demuestran la rápida lectura de futuro y promueven en mayor medida la concientización. El ámbito académico, no sólo es un intermediario que logra la alerta temprana, sino que también, promueve la movilización de todos los sectores y principalmente las minorías quienes poseen debilidad decisional.

Bibliografía

Cavieri, C. (2001). *Mirar desde aquí. La visión oscura de la arquitectura.* . Buenos Aires: Syntaxis.

- Ceceña, A. E. (17 de 2 de 2014). *Observatorio Latinoamericano de Geopolítica*. Recuperado el 14 de 3 de 2014, de La dominación de espectro completo sobre América.: <http://www.geopolitica.ws/article/la-dominacion-de-espectro-completo-sobre-america/>
- García, R. (2006). *Sistemas Complejos. Conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona, España: Gedisa.
- Massiris, A. (2007). Cualidades de las políticas latinoamericanas de ordenamiento territorial y sus perspectivas en un mundo globalizado. En D. Velazquez, & V. (. Castillo, *Ciudad y organización espacial* (págs. 51-80). México: Plaza y Valdés Editores.
- Mattioli, L. (2015). Tesis doctoral "Propuesta metodológica para el Ordenamiento Territorial de territorios rurales de Oasis Andinos". San Juan, Argentina: FAUD - UNSJ.
- Nozica, G., Taber, E., Arroqui, A., & Fernandez, H. (2009). *Estudios de Macrozonificación Campo Cañada Colorada*. Mendoza: Municipalidad de Malargüe, IDIH-UNSJ.
- Pérez, M., & Fernández, L. A. (2014). *Ordenamiento Territorial: Un instrumento integral para el Desarrollo Rural* (3° ed.). (L. Pannocchia, Ed.) Mendoza, Argentina: Fundación Instituto de Desarrollo Rural. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de <http://www.idr.org.ar/>
- Rietbergen-McCracken, Jennifer; Narayan, Deepa (comp). (1998). *Participation and Social Assessment: Tools and Techniques*. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development / THE WORLD BANK. Obtenido de http://www.cgiar-ilac.org/files/Rietbergen-McCracken_Participation.pdf
- Waisman, M. (1993). *El interior de la historia. Histografía arquitectónica para uso de Latinoamericanos*. (D. Serna, Ed.) Bogotá. Colombia: Escala.

Autores

Luisa Mattioli es Doctora Arquitecta, Becaria Postdoctoral del CONICET, investigadora del IRPHA FAUD UNSJ y Docente JTP de la cátedra de Morfología II de la FAUD UNSJ. mss30291@gmail.com

Eliana Gabriela Testa es Especialista Arquitecta, Becaria Doctoral del CONICET, investigadora del IRPHA FAUD UNSJ y Docente JTP de la cátedra de Teoría Historia y Crítica Arquitectónica III de la FAUD UNSJ. elianatesta@yahoo.com.ar

Ana Valeria Pochi es Arquitecta, Becaria Doctoral del CONICET e investigadora del IRPHA FAUD UNSJ. anapochi@live.com.ar

Turismo alternativo. Estrategia para el desarrollo sostenible desde el aprovechamiento geotérmico. Departamento Iglesia - Provincia San Juan

Luisa Mattioli¹, Alción Alonso Frank²

Resumen

El auge turístico del Departamento Iglesia, expone el desafío territorial entre la enajenación patrimonial y el desarrollo sostenible. La escasez de recursos, gran amplitud térmica, aridez y aislamiento, presentan las limitaciones energéticas para su desarrollo. El objetivo del trabajo es, exponer una estrategia turística que permita, desde la valoración y aprovechamiento geotérmico, reducir costos ambientales y económicos. La metodología se basa en un relevamiento de campo que permite diagnosticar los diferentes puntos de afluencia termal en relación a sus condiciones geotérmicas, reconociendo los recursos patrimoniales-turísticos del área de estudio. Como resultado, se obtienen lineamientos para concretar la estrategia turística como alternativa viable, que aprovecha el potencial geotérmico destinado a balneoterapia complementariamente con los diferentes recursos patrimoniales. Se considera al turismo alternativo y al potencial geotérmico en relación intrínseca y la comunidad como verdaderos agentes del desarrollo para la conservación patrimonial diversificando la oferta turística y la inclusión comunitaria.

Palabras clave: Turismo; geotermia; desarrollo sostenible.

Alternative tourism. Strategy for sustainable development from the geothermal utilization. Iglesia Department - San Juan province.

Abstract

The tourism upswing of the Iglesia Department, explains the territorial challenge between the equity transfer and sustainable development. The shortage of resources, wide temperature range, aridity and isolation, have energy constraints for development. It is objective of this work, exposing a tourism strategy that allows for the assessment and geothermal utilization, reduce environmental and economic costs for sustainable development. The methodology is based on a field survey that can diagnose different points of thermal flow in relation to its geothermal conditions, recognizing the

^{1 y 2} Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa FAUD UNSJ). Calle Ignacio de la Roza 590 (O) Complejo Islas Malvinas CP: J5402DCS. Rivadavia, San Juan, Argentina. Tel/fax: +54-264-423-3259 interno ----. e-mail: administrador@faud.unsj.edu.ar

heritage-tourism resources in the study area. As a result, guidelines for the realization of a tourism strategy as a viable alternative, which harnesses the geothermal potential destined to balneotherapy in addition to the different heritage resources are obtained. It is considered the alternative tourism and geothermal potential in intrinsic relationship and the community as real agents of development for heritage conservation and diversifying the tourism community inclusion.

Keywords: Tourism; geothermal energy; sustainable development.

Introducción

El crecimiento turístico acelerado del departamento de Iglesia, provincia de San Juan, responde a procesos globales de transformación y expone el desafío territorial entre la enajenación del patrimonio local y el desarrollo consiente del mismo. La falta de planificación, demanda de propuestas concretas que definan soluciones de protección y restricción del uso inadecuado de los recursos locales. Este departamento, localizado en el extremo Noroeste de la provincia, posee recursos únicos e inestimables que deben ser valorados para su defensa posterior y el beneficio comunitario. Entre ellos se destacan: el potencial geotérmico, como recurso dinamizador y estratégico del sector que permite estructurar el desarrollo por medio de soluciones no sólo turísticas sino también de índole energética.

El diagnóstico sistémico realizado por Nozica y Malmud (2007) y la investigación realizada por Plana, Orellano, y Márquez (2010), evidencian el potencial patrimonial y la localización estratégica de alternativas viables para el desarrollo. De esta manera, expone al turismo como un instrumento de construcción territorial eficaz para generar un desarrollo sostenible y consiente.

La Carta del Turismo Cultural define al turismo como:

(...) aquella forma de turismo que tiene por objeto, entre otros fines, el conocimiento de monumentos y sitios histórico-artísticos. Ejerce un efecto realmente positivo sobre éstos en tanto y en cuanto contribuye -para satisfacer sus propios fines- a su mantenimiento y protección. Esta forma de turismo justifica, de hecho, los esfuerzos que tal mantenimiento y protección exigen de la comunidad humana, debido a los beneficios socio-culturales y económicos que comporta para toda la población implicada (ICOMOS, 1976).

Por otro lado (Huber, 2001) expone las diferencias entre el turismo de masas y el alternativo. El primero se refiere generalmente a los grandes conglomerados o resorts turísticos en el mundo donde el turista es sólo un espectador pasivo de la realidad a conocer, generando impactos tanto positivos como negativos cuando se sobrepasa la capacidad de carga o se promueve desde la rentabilidad privada sin restricciones de planificación. Mientras que el alternativo se caracteriza por un tipo de empresa generalmente pequeña o mediana, o familias, favoreciendo al mayor contacto con las comunidades y donde existe en la mayoría de las veces, un respeto por la naturaleza. Este

Figura 1. Departamento de Iglesia San Juan.
Argentina



Fuente: Figura realizada por el autor.

tipo de turismo es consistente de los valores naturales, sociales y comunitarios y permite una relación positiva entre locales y turistas. Permite menores impactos en el medio natural y social, generando vínculos con otros sectores (agricultura, artesanía) de la economía local y retención de ganancias en la localidad.

El "Turista Alternativo" es actor y partícipe de las experiencias, tomando contacto directo con el entorno natural y social e interesándose por conocer y aprender los fenómenos que lo componen.

Las clasificaciones que se pueden incluir bajo el concepto de turismo alternativo pueden ser:

- "Natural" (turismo salud, turismo de aventura, ecoturismo, agroturismo, y turismo de naturaleza);
- "Cultural" (turismo arqueológico, rural, religioso y étnico);
- "Eventos" (deportes, carnavales y festivales);
- y turismo de voluntariado, de granjas, educativo, científico, etc.

De esta manera y bajo el concepto de turismo alternativo, es posible generar una propuesta territorial que no sólo aborde la concepción de desarrollo sostenible sino que colabore a reducir costos ambientales, de infraestructura y económicos mediante la consideración del recurso geotérmico del sector, combinado a otros recursos renovables. Las comunidades implicadas se verán involucradas en la participación de su propio desarrollo con nuevas alternativas potenciando cadenas cortas de comercialización.

La obtención, transformación, transporte y usos de la energía, constituyen los problemas fundamentales del siglo XXI. Esta necesidad creciente de energía conduce a la búsqueda de alternativas que sustituyan la proveniente de combustibles fósiles, altamente contaminantes por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (GIECC, 2011). El uso eficiente de energía constituye un propósito de carácter mundial.

Este trabajo pretende abordar una estrategia turística que involucre la reducción de costos energéticos mediante el aprovechamiento local del patrimonio geotérmico. De esta manera familias y emprendimientos en relación a ella, pueden viabilizar un desarrollo con una característica particular de la zona, que le confiera una identidad termal preponderante. La energía geotérmica (calor de la tierra) detectada en el Departamento de Iglesia representa grandes oportunidades tendientes a lograr mejores condiciones de habitabilidad para las comunidades andinas.

El área andina argentina posee recursos renovables de origen geotérmico que se destaca entre las energías renovables, por la posibilidad de aprovechamiento constante sin variaciones durante los 365 días al año y las 24 horas del día, y sus diversos usos y aplicaciones según la entalpía (Secretaría de Energía, 2008). Actualmente el ámbito provincial y nacional, se encuentra en formación en la materia, y el recurso geotérmico presente en la región de estudio, constituye un potencial de desarrollo. A nivel internacional la capacidad geotérmica instalada es de 15.5GW. Respecto de ello, la energía solar asciende a 80.3GW y la eólica a 327GW. Aun siendo, la energía eólica, la más competitiva de todas, es la de mayor desviación (World Energy Council, 2014). El empleo de energía solar para la región, es interés nacional y la investigación sobre fabricación, comercialización, instalación y uso de paneles fotovoltaicos se encuentra en estado avanzado.

Las energías renovables, dentro de ellas la geotérmica, ofrecen la oportunidad de contribuir al desarrollo sostenible del sector, a un mayor acceso a las fuentes de energía, a un suministro de energía seguro, a la mitigación del cambio climático y a la reducción de los impactos medioambientales y sanitarios negativos. La posibilidad de gestionar la matriz energética de mejor

manera respecto de los usos de la energía o de utilizar en menor medida los de procedencia fósil ayudaría a una mejora del bienestar comunitario (GIECC, 2011). Obtener energía de forma segura, accesible y respetuosa con el medio ambiente es un principio importante para el desarrollo y el bienestar de comunidades marginadas.

Los territorios áridos de Oasis Andinos de la provincia, frente a la escasez de recursos, presentan limitaciones de índole energética. La condición climática con grandes amplitudes térmicas, diarias y estacionales, condiciona el desarrollo de asentamientos humanos, agravados por el aislamiento debido a las grandes distancias entre poblados. La actividad tectónica y volcánica es indicio de la presencia geotérmica, propia de estas áreas. Estos factores, inducen a aceptar como válida, la propuesta estratégica respecto del aprovechamiento principalmente geotérmico del Departamento.

Como resultado relevante, se destacan las cualidades excepcionales que posee el sector para lograrse una alternativa turística viable para el desarrollo sostenible desde la incorporación de proyectos turísticos termales destinados a balneoterapia. Los mismos se plantean de manera de involucrar la asociación con diferentes sectores, primarios, secundarios y de nivel terciario, para diversificar la oferta turística y lograr la inclusión comunitaria. Por otro lado se presentan lineamientos tanto particulares de los proyectos termales como generales del sector, que abarcan las condiciones necesarias para lograr la sostenibilidad ambiental.

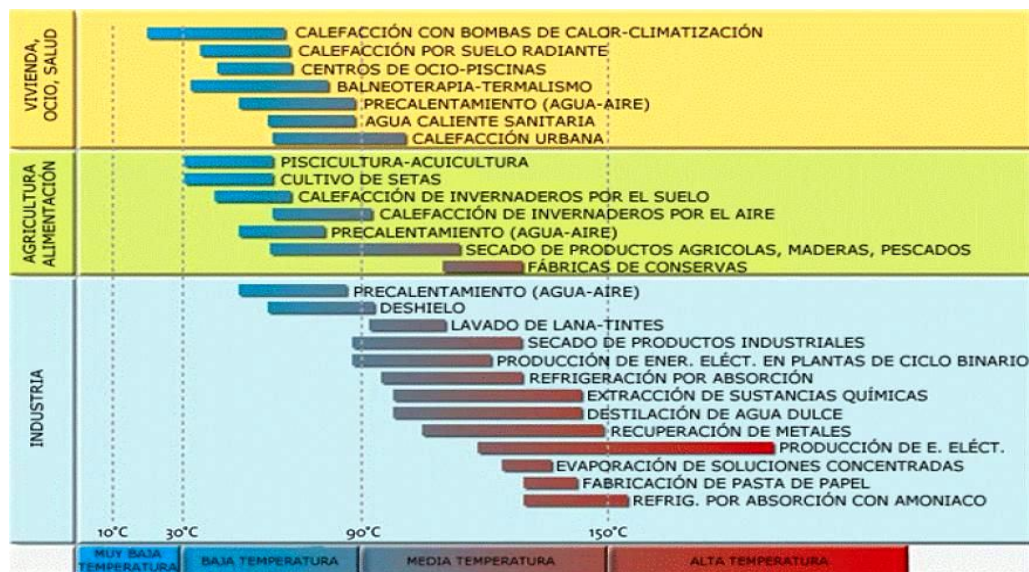
La sostenibilidad ambiental (por medio de la consideración del largo plazo) y el suministro energético, se priorizan a fin de generar decisiones en inversiones consientes, que beneficien a la población tanto en la generación de oportunidades laborales como en la reducción de la matriz energética. Esta estrategia permite pensar a futuro desde la noción de eficiencia energética, cuidado y educación ambiental como también de conservación y preservación patrimonial. De esta manera se considera al turismo alternativo y al potencial geotérmico en relación intrínseca con la comunidad directamente involucrada como verdaderos agentes del desarrollo.

Metodología

El estudio del Departamento de Iglesia se ejecuta mediante datos primarios y secundarios. Por un lado se analiza en profundidad, investigaciones de diagnóstico territorial y patrimonial realizadas a cargo de distintos investigadores -(Plana & Fábrega, 2009) (Plana, 2010) (Nozica & Henríquez, 2014) (Nozica, Taber, Arroqui, & Fernandez, 2009) (Nozica & Malmod, 2007)- para el estudio de las posibilidades turísticas del departamento. Por otro lado, se realiza un relevamiento de campo que permite reconocer los diferentes puntos de afluencia termal en relación a sus condiciones geotérmicas generando mediciones objetivas en cuanto a mineralización, caudal y temperatura. Se releva también los recursos patrimoniales del área de estudio y en simultáneo se genera un relevamiento fotográfico de los mismos junto con entrevistas a lugareños con el objetivo de conocer el sector, sus recursos y el sentido de pertenencia local.

Esta primera fase corresponde al diagnóstico. En él se estudian los beneficios de los recursos geotérmicos que se encuentran en función del gradiente térmico, determinando las posibilidades de uso de acuerdo a su entalpía: baja, media o alta. Los de baja y media entalpía, son de gran interés por ser un recurso de bajo costo y accesibilidad para ser utilizado en: calefacción de locales, balneoterapia, procesos de fermentación, usos en agricultura y ganadería piscicultura o para procesos industriales donde el calor es utilizado para descongelamiento, destilación, secado, elaboración de diferentes productos, refrigeración por absorción, etc., (ver figura 2).

Figura 2. Aplicaciones de la energía geotérmica según la temperatura de utilización.



Fuente: (Llopis & Rodrigo, 2014)

Si bien en Argentina existen más de trescientos puntos de interés geotérmico, según la Secretaría de Energía de la Nación, en sólo cuatro de ellos se podría generar energía eléctrica mediante la obtención de alta entalpía, destacándose: Copahue (Neuquén), Domuyo (Neuquén), Tuzgle (Jujuy) y Valle del Cura (San Juan - Iglesia) (2008).

De esta manera se valoran los distintos puntos de afluencia termal respecto de nivel paisajístico y calidad ambiental junto con la temperatura, la salinización y el caudal que son factores determinantes para determinar la propuesta de posibles proyectos. Por otro lado se estudian las posibilidades de aplicación más importante de la energía geotérmica según los rangos de temperatura de utilización: muy baja, baja, media y alta temperatura:

En una segunda fase, se clasifica el patrimonio cultural y natural del Departamento localizando distintas áreas según la clasificación turística de Pierre Defert (1972) ya que pone el acento en todas las actividades que pueden estar relacionadas con el agua, lo que abarca un gran espectro de turistas y engloba los principales recursos patrimoniales, además de permitir visualizar las relaciones con los distintos recursos turísticos.

Método de Pierre Defert basado en la cosmología de Aristóteles destaca 5 puntos:

- a) Hidromo: Todo elemento de atracción relacionado con el agua, en su estado natural o modificado por el hombre. En este grupo se incluyen las aguas marítimas, las aguas terrestres, las playas y las costas, los puertos deportivos, los balnearios, la nieve, etc.
- b) Phitomo: Es el elemento terrestre e incluye todo elemento natural que tenga cierto atractivo, modificado o no por el hombre, a excepción del hidromo. En este grupo se integran el relieve, el clima, la flora y fauna, el paisaje, los accidentes naturales, etc.
- c) Litomo: Todo elemento construido por el hombre que tenga interés por su naturaleza o por el uso a que esté destinado: restos arqueológicos, arquitectura antigua, monumentos históricos, conjuntos históricos monumentales, arquitectura o ingeniería actual, museos, urbanismo, etc.

d) Antropomo: Su elemento fundamental es el hombre, independientemente de su soporte físico (litomo) o de su marco (hidromo y phitomo). Abarca todo lo referido a la estructura socio-económica, la idiosincrasia y las características raciales, la artesanía, el folklore y la gastronomía, las actividades culturales, etc.

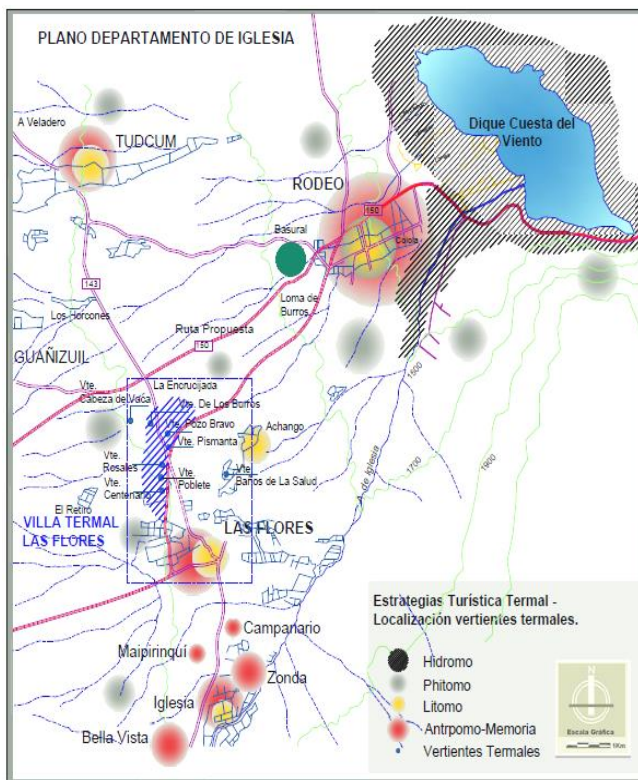
e) Memoria: Recuerdo o memoria de personajes literarios, artistas, lugares históricos, centros de peregrinación religiosa, etc.

Identificados los distintos recursos, se evidencian los focos turísticos en el territorio. Respondiendo al factor geotérmico, se plasman los recursos termales de baja y media entalpía del área identificada como una posible Villa Termal Turística (Ver Figura 3).

Se prioriza una estrategia termal orientada a la balneoterapia para consolidar un área termal por excelencia en la localidad de Las Flores.

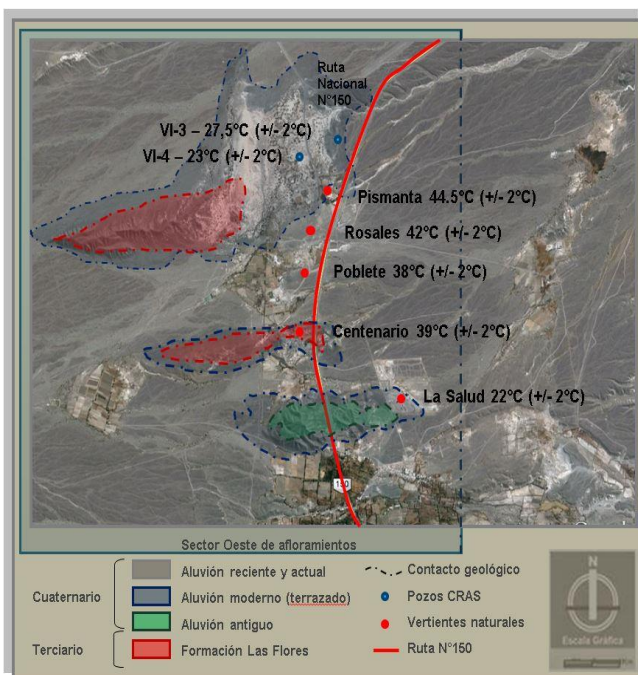
La misma se justifica desde los estudios de referencia realizados por el CRAS (Centro Regional de Aguas Subterráneas) del INA (Instituto Nacional del Agua) (WETTEN, GARCÍA, & PELEGRINO, 1984) que demuestran la existencia de acuíferos con gradiente térmico de baja entalpía, que rondan alrededor de 30°C, localizados a profundidades entre 38 y 100m. A su vez las vertientes de afloramiento natural de la localidad de Las Flores, revelan temperaturas desde los 23°C hasta los 45°C. Se infiere que los acuíferos pueden ganar gradiente térmico al descender a niveles inferiores respecto de las referencias, posibilitando su ascenso mediante las fallas geológicas dispuestas en el área que posibilitan afloramientos de manera natural. En áreas alejadas como Despoblados y Gollete, existen estudios

Figura 3. Localización de recursos turísticos según clasificación de Pierre Defert.



Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 4. Localización estratégica del sector de afluencia termal en la localidad de Las Flores Iglesia.



Fuente: Figura realizada por el autor.

para el aprovechamiento de energía geotérmica, con temperaturas mayores a los 98°C (de alta entalpía a vapor saturado), orientado a la generación eléctrica para el proyecto Minero Divisadero (SEGEMAR, 2006).

La figura 4, expuesta anteriormente, demuestra la situación estratégica de la localidad de Las Flores y la cercanía de las diferentes vertientes termales que constituyen el principal núcleo de baja y media entalpía del Departamento. También muestra áreas de composición geológica determinante en la mineralización de dichas vertientes.

Resultados

Habiendo profundizado en el conocimiento general de Iglesia, se puede llegar a identificar las zonas de gran potencial como recurso geotérmico y turístico, en las cuales se pueden localizar los posibles proyectos a generar en cada una de ellas.

Dentro del sector seleccionado que posee recursos geotérmicos de media y baja entalpía, se destaca que, por las cualidades curativas (medicinales) de los afloramientos termales -de acuerdo a la mineralización, baja salinidad como también la temperatura y la presión osmótica del agua proveniente de las vertientes- la viabilidad para establecer proyectos turísticos termales destinados a balneoterapia, que involucren la asociación con diferentes sectores primarios, secundarios y de nivel terciario, es una de las alternativas más adecuadas. Por otro lado se establece que, estas condiciones excepcionales, son comparativamente superiores a diversos establecimientos y puntos de afluencia turísticos-termales del país. Se destaca también que a nivel ambiental y territorial, dicha área posee un valor patrimonial y localización estratégica que amerita su planificación.

De esta manera vemos cómo la clasificación de Defert nos aporta una multiplicidad de relaciones entre actores y los recursos patrimoniales para potenciar la actividad turística al mismo tiempo que se preserva la identidad cultural y el estado patrimonial. Esta propuesta parte de la conservación patrimonial como eje primordial, por ello los límites de la capacidad de carga se establecen en función de las características del emplazamiento de cada parcela donde afloran las vertientes como también del caudal de cada una de ellas. La actividad complementaria debe dar apoyatura con cooperación y asociación comunitaria.

Esta investigación presenta numerosos aspectos positivos ya que ha permitido conocer en profundidad principios del turismo, las propiedades medicinales de las aguas termales y las posibilidades proyectuales en cuanto a la eficiencia de los edificios atendiendo al aprovechamiento térmico asociado al recurso termal como también y no menos importante la amplia posibilidad de vinculación de los proyectos turísticos con distintos usos y actividades.

Se presentan así, diferentes proyectos por punto de afluencia termal (Ver Figura 1) determinando en cada uno de ellos: **Denominación, objeto, justificación, objetivos, destinatarios y actuaciones.**

A continuación se detallan las actividades y usos para generar asociaciones, cooperación y la reducción de costos energéticos asociados a los diferentes complejos turísticos termales.

Tabla 1. Actividades y usos asociados al sector turístico termal.

| Proyectos Turísticos-Termales | Actividades asociadas de vinculación directa al uso geotérmico | Actividades asociadas complementarias y cooperativas al sector turístico |
|--|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Termas de Pismanta 2. Termas Pampa del Cura (Baños de la Salud) 3. Termas de Rosales 4. Termas de Poblete 5. Termas de Centenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Agricultura de tipo orgánica. 2. Cultivo de setas 3. Piscicultura-acuicultura. 4. Calefacción de invernaderos por agua y aire. 5. Calefacción de recintos edilicios para balneoterapia y diferentes actividades. 6. Secado de productos agrícolas. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Ferias de artesanías 2. Producción de alimentos locales para el fomento de la gastronomía cultural. 3. Esparcimiento público. 4. Campings, hospedajes, cabañas de tiempo compartido, etc. 5. Áreas Cívicas- comerciales 6. Recreación pública y privada. 7. Forestación pública. 8. Circuitos de turismo aventura y rural. 9. Itinerarios patrimoniales históricos y de memoria. 10. Circuitos variados de integración patrimonial por medio de rutas, sendas o bici sendas turísticas. |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

A modo de ejemplo se expone el Complejo de Rosales:

Tabla 2. Complejo Turístico Termal Rosales. Ejemplo.

| COMPLEJO ROSALES | | | | |
|--|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | |
| Denominación: PROYECTO COMPLEJO TURÍSTICO TERMAL ROSALES | | | | |
| Objeto: | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Generar un Complejo Termal que incorpore hospedaje, parque de recreación termal y salud atendiendo a los nuevos lineamientos del turismo alternativo proporcionando servicios de muy buena calidad. - Generar asociaciones con agricultura orgánica e invernaderos de desecación de frutas de carozo. | | | | |
| Justificación: Rosales cuenta con un terreno amplio de 15ha mucho mayor en comparación a los grandes complejos termales como las Termas de Federación (Entre Ríos), un caudal importante con respecto a las demás vertientes de la zona de Las Flores y una temperatura ideal para todo tipo de actividades. Por lo tanto el proyecto destinado a balneoterapia debe poder abastecer las diferentes áreas haciendo un proyecto integral que valore, redistribuya, y/o recircule el agua termal a fin de conseguir reducir las temperaturas necesarias para cada actividad proyectada sin desperdiciar el recurso. El terreno y las cualidades de Rosales permiten plantear un proyecto de gran jerarquía, con un amplio programa siguiendo lineamientos de eficiencia y adaptabilidad, que garanticen distintas etapas de construcción a medida que se vaya consolidando la villa termal propuesta. La adaptación permitirá una mayor capacidad de recepción de turistas de forma paulatina, fomentando el turismo salud, alternativo, con variadas opciones de asociación y recreación para una oferta activa y atractiva. Al deber reducir las temperaturas en boca de salida para sectores de balneoterapia es posible asociar dicha actividad a procesos de desecación de frutas y aromáticas que son principales | | | | |

producciones de la zona y que pueden generar valor agregado a diferentes productos con la consolidación de eslabonamientos cortos de producción. Por otro lado es posible generar diversas asociaciones según la Tabla 1, en función a la participación y la integración comunitaria.

Objetivos:

- Programa del Complejo Turístico Termal Rosales.
- Proyecto arquitectónico, con diseño flexible, adaptable y sustentable.
- Fomentar el turismo alternativo que atienda al grupo familiar en general clase media alta.
- Promover la integración social con espacios agradables de tratamiento, esparcimiento y recreación.
- Generar un producto turístico diseñado para recuperar, el equilibrio saludable del ser humano.
- Lograr métodos sustentables de desarrollo del Turismo Termal y de Bienestar.
- Obtener el posicionamiento del Producto turístico en el mercado interno y principalmente externo.

Destinatarios: Se debe pensar este producto turístico que no presenta estacionalidad, como un producto con alto nivel de repetición, lo que podría llegar a atraer 1100 visitantes anuales o más. El interés de los sectores públicos y privados es mejorar la calidad del producto para un crecimiento y la diversificación de la demanda del turismo termal. Se adopta ese concepto desde el punto de vista de conservar el cliente tradicional, que busca paliativos para sus problemas de salud sumando en este sector personas sanas con altos niveles de exigencias cotidianas: laborales, familiares y estéticas, familias jóvenes que buscan paisajes naturales con opciones de entretenimiento infantil, deportistas con expectativas de mejorar su rendimiento físico, parejas que buscan nuevas opciones para su relación, grupos de mujeres que combinan el placer de descansar con el de recibir tratamientos de belleza, personas sanas de la tercera edad con disponibilidad de tiempo libre. Para ello los escenarios deben ser variados y atender a un sin número de posibilidades con paquetes y promociones válidas para todo tipo de clientes. La procedencia de estas personas apunta a un turismo nacional, puede ser muy amplia, y lograr estadías prolongadas, el turismo regional en primera instancia brindaría la posibilidad de ofrecer opciones vacacionales interesantes al turista. Este tipo de demanda exigente, necesita servicios de calidad, hospedaje confortable y accesible satisfaciendo los distintos niveles adquisitivos tendiendo a una clase media y alta con un acondicionamiento adecuado buscando soluciones creativas que se vinculen al medio ambiente.

Actuaciones:

- Participación en talleres comunitarios y laboratorios territoriales para definir prioridades y la aceptación general de la propuesta como también las posibilidades de cooperación.
- Programa arquitectónico para el Complejo termal considerando actividades diversas de asociación surgidas del punto anterior.
- Apertura de concurso de ideas proyectuales con las ampliación de las consideraciones planteadas.
- Licitación de obras por parte del Estado.

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Los complejos turísticos deben licitarse de manera tal que integren sistemas eficaces para reducir los costos energéticos. A continuación se detallan lineamientos a seguir para el acondicionamiento y diseño de los mismos:

- Incorporación de sistemas de recirculación del agua que permitan la temperatura adecuada en boca de salida a sectores de baños termales, mediante la calefacción de ambientes.
- Asociación con sistemas de colectores solares o paneles fotovoltaicos para suplir déficits energéticos adecuadas al clima de la región, geografía y potencialidades del lugar.
- Exigir la Evaluación de Impacto Ambiental en la utilización del recurso geotérmico en el ciclo completo de utilización como también en función de los emprendimientos turístico-comerciales.
- Diseñar sistemas de tratamiento, evacuación, recirculación o vertido de efluentes primarios y secundarios como también el tratamiento, control, reducción y reciclaje de residuos del área termal.
- Incorporar sistemas de riego racionalizados que generen el aprovechamiento óptimo del recurso.
- Exigir no sobrepasar la capacidad de carga turística para cada proyecto turístico termal.

Por otro lado el Sector termal debe cumplir con lineamientos generales para la contribución al desarrollo sostenible:

- Generar plan de ordenamiento territorial comprometidos con el patrimonio integral del departamento.
- Establecer estudios de mercado turístico para ofrecer oportunidades únicas al visitante como la rentabilidad local.
- Promocionar la integración de nuestra provincia al turismo nacional teniendo en cuenta la preservación del patrimonio.
- Conservar y preservar recursos patrimoniales naturales y culturales mediante la valoración y gestión adecuada para incentivar la cohesión local y asociación comunitaria en el desarrollo turístico del sector.
- Dotar al sector con proyectos culturales en la zona de afluencia termal, para generar un polo turístico.
- Control de obras de infraestructura, instalaciones y futuras ampliaciones mediante evaluación de Impacto ambiental.
- Generar procesos participativos y la incorporación de la comunidad en la definición de obras de infraestructura, instalaciones, elementos de soporte, cooperativas, empresas, relaciones, etc., que transformen el paisaje cultural y de apoyo a la inserción laboral local.
- Generar especializaciones y oficios que permita garantizar la plena adaptación a las futuras transformaciones, sin perder la propia identidad local.
- Incorporar sistemas educativos visuales-comunicacionales que logren motivar a los turistas y la comunidad sobre el cuidado del medio ambiente.
- Mejorar conocimientos y procedimientos de la cadena de comercialización.

Conclusiones

Este trabajo se aborda identificando las potencialidades geotérmicas en los distintos puntos del oasis de Iglesia. Se propone como alternativa más apropiada una estrategia turística que pueda, mediante una planificación del Patrimonio integral del Departamento de Iglesia, incluir los diversos recursos que el mismo ofrece.

La sostenibilidad ambiental en el largo plazo y el suministro energético, podrá definir decisiones e inversiones conscientes, que beneficien a la población tanto en la generación de oportunidades laborales como en la reducción de la matriz energética. Estos aspectos reducirían el uso de la matriz energética actual, de origen fósil, favoreciendo a la conservación de la biodiversidad y minimizando impactos ambientales irreversibles. También favorecerían a una multiplicidad de usos que favorecerían a la diversificación de la oferta turística como el fortalecimiento comercial local.

Esta estrategia que permite la complementariedad con las localidades vecinas permite pensar a futuro desde la noción de eficiencia energética, cuidado y educación ambiental como también de conservación y preservación patrimonial. No sólo se aprovecha el potencial geotérmico sino se genera valor agregado aprovechando el auge turístico. De esta manera se considera al turismo alternativo en relación intrínseca con la comunidad directamente involucrada y no como agente pasivo o como muestras de historia estática, sino como verdaderos agentes del desarrollo.

Se pretende frenar procesos especulativos sobre el territorio, para obtener el mejor uso posible de los recursos y al mismo tiempo asegurar y no exceder las capacidades que nos brinda el medio natural. Esta propuesta abre un campo para la aplicación de medidas equilibradas en pos del desarrollo futuro del Departamento, garantizando el aprovechamiento apropiado del recurso

geotérmico e involucrando a la comunidad local en la gestión de su patrimonio local. Sin embargo, una protección integral y sostenible del patrimonio del medio rural no puede ser responsabilidad exclusiva de las instituciones públicas. Para ello es necesario un alto nivel de integración de la comunidad en esa tarea. La concientización de la población sobre su patrimonio es un deber, por la condición legítima de propiedad comunitaria del mismo. Esa función debe cumplirla la administración a través de programas educativos y divulgativos. El patrimonio no puede ser materia exclusiva de especialistas, tampoco es lo raro o lo escaso, sino algo que se comparte y se usa colectivamente. Por ello desde la comunidad, es posible visualizar los verdaderos agentes del desarrollo, por medio de su involucramiento con una participación activa.

Por lo tanto, poner a disposición investigaciones de este tipo, a los diferentes actores (públicos y privados, individuales y colectivos) interesados en la promoción y desarrollo del departamento resulta ser un instrumento útil y eficiente para contribuir al conocimiento, la sensibilización social, la protección y al uso social. El desafío es buscar una experiencia cultural con identidad local única, a través de la interpretación del patrimonio y el turismo sustentable.

Bibliografía

GIECC. (2011). *Informe*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Huber, N. (2001). Circuitos Turísticos Histórico Culturales. Carlos Paz, Córdoba: Dirección de Patrimonio Histórico del Gabinete de Turismo de Villa Carlos Paz.

ICOMOS. (1976). *Carta del Turismo Cultural*. Bélgica.

Llopis, G., & Rodrigo, V. (2014). *Guía de la energía geotérmica*. Madrid. España: Fundación de la energía de la comunidad de Madrid.

Mattioli, L. (2010). *Propuesta de proyectos culturales para la puesta en valor de los Recursos Naturales Termales fomentando el Turismo para el desarrollo Sustentable del Departamento de Iglesia*. San Juan. Argentina: Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño.

Nozica, G., & Henríquez, G. (2014). Identificación de procesos de deterioro ambiental Valle del Tulúm, provincia de San Juan. En L. Rodriguez, *La emergencia de los enfoques de la complejidad en América Latina. Desafíos, contribuciones y compromisos para abordar los problemas complejos del siglo XXI* (Vol. I Tomo II, págs. 282-300). San Juan, Buenos Aires, Argentina: Comunidad de Pensamiento Complejo. Obtenido de <https://www.comunidadeditora.com>

Nozica, G., & Malmod, A. (2007). *Identificación de estrategias para la formulación de planes de Ordenamiento Territorial para los departamentos de Jachal, Iglesia, Calingasta*. San Juan: UNSJ. FAUD. Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño.

Nozica, G., Taber, E., Arroqui, A., & Fernandez, H. (2009). *Estudios de Macrozonificación Campo Cañada Colorada*. Mendoza: Municipalidad de Malargüe, IDIH-UNSJ.

Plana, M. R. (2010). *El Patrimonio Natural y Cultural del departamento Iglesia como elemento articulador para el desarrollo local*. Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño.

Plana, M. R., & Fábrega, M. (2009). *El Patrimonio Natural y Cultural del departamento Iglesia como elemento articulador para el desarrollo local*. San Juan: Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño.

Plana, M. R., Orellano, L., & Márquez, E. (2010). *Conservación del Patrimonio*. Capital. San Juan: UNSJ.

Secretaría de Energía. (2008). *Energía Geotérmica. Material didáctico*. Ministerio de Planificación Federal Inversión pública y servicios. Argentina. Obtenido de <http://www.energia.gov.ar>

SEGEMAR. (2006). *Memorias del Servicio Geológico Minero Argentino*. Obtenido de <http://www.segemar.gov.ar/memoriaanual/MEMORIA06.pdf>

WETTEN, C., GARCÍA, E., & PELEGRINO, J. (1984). *Investigación del agua subterránea y del termalismo del Valle de Iglesia*. San Juan. Argentina: Universidad Nacional de San Juan. Instituto de Investigaciones Geológicas. Ctro. Regional Aguas Subterráneas.

World Energy Council. (2014). Obtenido de <http://www.worldenergy.org/data/resources/resource/geothermal/>

Autores

Luisa Mattioli es Doctora Arquitecta, Becaria Postdoctoral del CONICET, investigadora del IRPHA FAUD UNSJ y Docente JTP de la cátedra de Morfología II de la FAUD UNSJ. mss30291@gmail.com

Alción Alonso Frank es Arquitecta, Becaria Doctoral CONICET y Profesor Ordinario Jefe de Trabajos Prácticos vinculado a proyecto de investigación del IRPHA FAUD UNSJ. alcion88@hotmail.com

08. Conservación preventiva en Museos, Bibliotecas y Archivos

Definición de parámetros higrotérmicos locales para conservación preventiva en edificios culturales

María de la Paz Diulio^{1,2}, Analía Fernanda Gómez^{1,2}

Resumen

El trabajo presenta una revisión de la normativa al respecto de los parámetros de admisibilidad para ambientes de conservación. La investigación se orienta hacia una concepción de edificios para la cultura con baja demanda de mantenimiento y acondicionamiento pasivo. Aquí surge la pregunta de cuáles son los rangos adecuados de temperatura y humedad relativa a instalar como objetivo. Se propone adecuar los ideales medioambientales que se obtienen de la bibliografía a las posibilidades de implementación en edificios locales. Del estudio de las variables que motivan a los estándares internacionales, junto con el análisis del clima de La Plata en la región bioclimática Argentina IIIb, se propone como adecuado para la conservación de bienes culturales un rango de 15° a 25°C y 55% de humedad relativa con oscilación estacional de 10% y 10°C sin superar los 28°C.

Palabras clave: museos, archivos, bibliotecas, eficiencia energética, normativa, ambiente.

Local definition of hygro-thermal parameters for preventive conservation in cultural heritage buildings

Abstract

The article presents a literature review on admissible parameters in conservation environments. The research is oriented towards a low maintenance and passive conditioned cultural buildings. This is when the question about the suitable set point ranges on temperature and relative humidity emerges. It is proposed to adapt the environmental targets obtained from the literature to the possibilities of implementation at local buildings. From the study of the variables that motivated international standards, along with the analysis of La Plata, in bioclimatic zone IIIb (Argentina), a range for conservation of cultural goods is proposed. This suitable a range is 15° to 25°C and 55% relative humidity with seasonal fluctuation of 10% and 10°C not exceeding 28°C.

Keywords: museums, archives, libraries, energy efficiency, standards, environment.

¹ Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LAYS FAU UNLP). Calle 47 N°162 CC 478 – B1900GGD La Plata, Buenos Aires, Argentina. Tel/fax: +54-221-423-6587 interno 255. e-mail: lays@fau.unlp.edu.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET

Introducción

Este trabajo compone una investigación en la que se evalúan las condiciones de temperatura (T) y humedad relativa (HR) de los ambientes de conservación de museos, archivos y bibliotecas en la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Se monitorean estos espacios con dataloggers para luego de cada campaña comparar las condiciones encontradas con las propuestas por estándares internacionales para la conservación de los materiales (Diulio, et. al. 2015; Diulio & Gómez, 2014a, 2014b). Este trabajo analiza la normativa existente sobre las condiciones adecuadas de T y HR para ambientes de conservación en edificios patrimoniales.

El objetivo del trabajo es analizar la bibliografía y normativa internacional para determinar cuál es el rango que se puede adoptar en la región bioclimática IIIb de Argentina sin poner en riesgo las colecciones. Los rígidos parámetros de Europa y Norte América, creados según su condición climática exterior, sólo pueden alcanzarse por medio de la instalación de sistemas completos de calefacción, aire acondicionado y ventilación que son costosos, invasivos y sensibles a cortes de energía (Maekawa & Toledo, 2011) y no son posibles de satisfacer con estrategias pasivas de acondicionamiento. Objetivos derivados de esta estrategia son: ahorrar energía en acondicionamiento; prolongar el ciclo de vida de los materiales de las bibliotecas, y por lo tanto recursos económicos re direccionados a otras áreas del organismo. El hecho de conservar el patrimonio cultural trae implícita la idea de que las generaciones futuras se valdrán de dicho patrimonio; mientras que los principios del desarrollo sustentable promueven el uso de los recursos naturales de manera tal de garantizar la posibilidad de las generaciones venideras de utilizarlos de la misma manera.

El libro, como otros elementos, está compuesto por más de un material: papel, adhesivos, cuero, cartón, hilo; estos materiales son orgánicos, es decir, de origen vegetal o animal, y sufren un grado natural con el paso del tiempo. Es por eso que diferentes autores han analizado el daño que puede generar el ambiente en el que se almacenan las colecciones. El papel es un material higroscópico y por lo tanto absorbe y cede humedad del ambiente. Este proceso genera deterioro de tres tipos: cambios en el tamaño y la forma; reacciones químicas, y deterioro biológico (Martens, 2012; Pavlogeorgatos, 2003; Thomson, 1998).

Los cambios de tamaño y forma, llamados también daño mecánico, suceden durante el proceso de absorción y desorción, ya que se las colecciones se hinchan y encojen al variar la humedad relativa. Este proceso puede tardar meses en objetos de gran tamaño, o minutos en el caso de una hoja de papel. A su vez cada uno de los materiales que componen el elemento tiene distintas capacidades de absorción y por lo tanto sufrirán diferentes “deformaciones”. Las tensiones que se generan pueden reducir notablemente la usabilidad del elemento.

La HR acelera la combinación del dióxido de azufre (SO₂) con moléculas de agua para formar ácido sulfúrico, que es muy corrosivo. El óxido de azufre es un ácido débil que se encuentra en la naturaleza, sin embargo proviene en su mayoría de la quema de combustibles fósiles. Este ácido genera debilitamiento de los bordes de las hojas de papel. El ácido también puede provenir de la elaboración del papel con aditivos como alumbre, en los que el deterioro se genera en toda la superficie de la hoja (Thomson, 1998).

La HR superior a 70% facilita el desarrollo de mohos. Las bacterias necesitan una humedad aún superior. Otros insectos como las polillas se desarrollan a HR de 65% a 76%, sin embargo no se logran erradicar aun a 20% de HR (Pavlogeorgatos, 2003, p. 1459).

La T afecta a la conservación de los libros y través de diversos mecanismos. Por una parte aumenta el número de procesos químicos, aun en la oscuridad, si se eleva la temperatura de la celulosa de 15°C a 20°C su índice de deterioro aumenta 2,5 veces. Igualmente aumenta el número de procesos físicos como el movimiento del agua y del aire a través de los sólidos. Siguiendo el ejemplo anterior, con un aumento de 5°C estos procesos se aceleran 3 veces. También aumenta la actividad biológica a temperaturas templadas, y a esto se suma la influencia de la temperatura sobre la humedad relativa. Finalmente, si el aumento de la temperatura es efecto de calor radiante (una fuente luminosa u otro objeto) se producirá desecamiento aun cuando la humedad relativa de la sala se mantenga constante (Thomson, 1998). La falta de humedad también es perjudicial ya que al researse el papel se vuelve frágil y quebradizo.

Estas cuestiones fueron investigadas por conservadores, físicos y químicos durante el S.XX, hasta establecer diversos parámetros recomendados para reducir el degrado natural que sufren todos los materiales con el paso del tiempo. Dichas pautas conforman normativas que muchas instituciones persiguen a modo de certificar la calidad de sus espacios de conservación.

Para las instituciones es importante conocer los valores esperados para estas variables porque sobre dicha información se tasa el sistema de climatización artificial o se juzga el desempeño del organismo. La flexibilidad juega un rol económico en este caso, además de marcar la diferencia entre permitir diseño pasivo o acondicionamiento mecánico excluyente. Investigadores renombrados como Padfield y otros (2014) han demostrado que relajar los parámetros estrictos que proponen las normas posibilita prescindir de equipamiento mecánico con diseño pasivo adecuado y sin perjuicio para la colección.

Metodología

Se realiza una revisión bibliográfica extrayendo de los estándares principales y autores de referencia los conceptos sobre los que se posicionan para determinar las variables relevantes y los valores propuestos. Entre ellas podemos mencionar la obra de Garry Thomson, químico investigador de la *National Gallery* (1998); las normas italianas del Ente Nacional de Unificación sobre la conservación de bienes culturales, elaboradas por un equipo interdisciplinario de ingenieros termo mecánicos, arquitectos y conservadores (UNI, 1997, 1999); la BS5454, norma inglesa para la conservación y exhibición de material de archivo (British Standards Institution, 2012); parte de la obra del físico británico Tim Padfield; el aporte del equipo Bell y Faye, arquitecto y archivista que asesoran sobre el diseño de edificios de archivos y el manual 2011 de la Asociación ASHRAE.

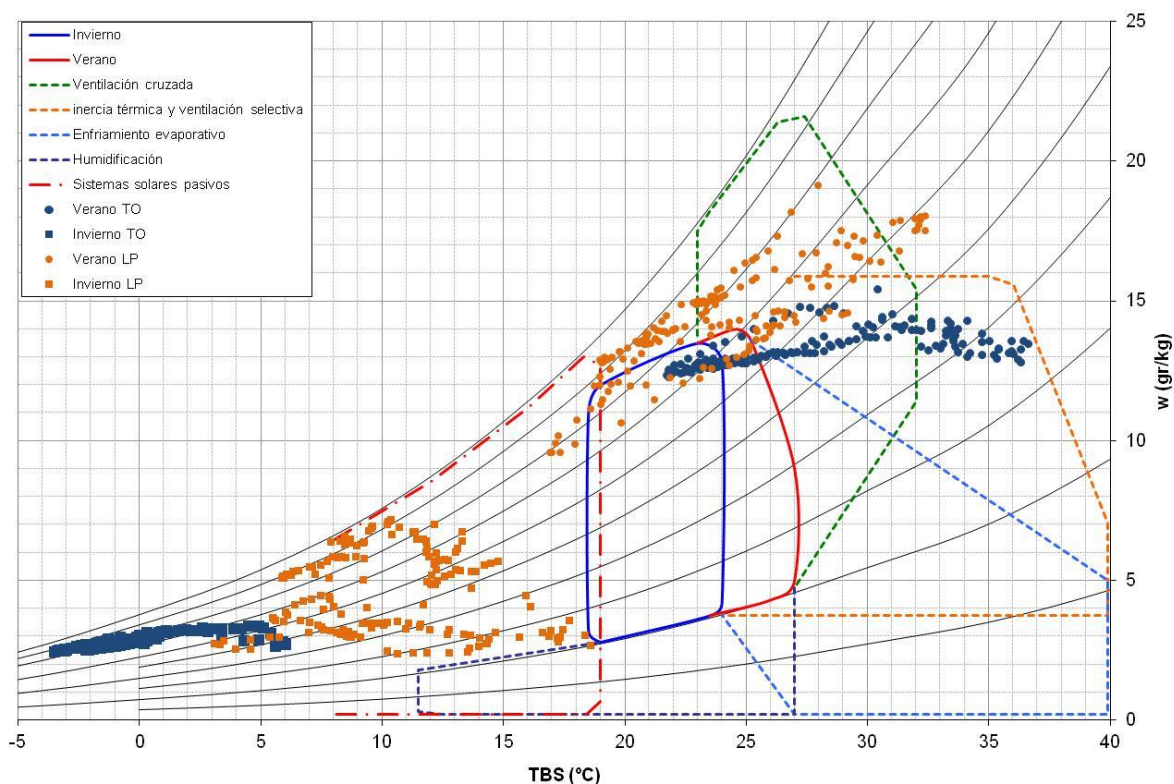
La bibliografía analizada fue desarrollada mayormente en Europa y América del Norte, donde el clima es diferente al de la Provincia de Buenos Aires, como se observa en la **Figura 1**. Por tratarse de climas más rigurosos, un edificio estándar medio europeo tiene una conformación más compleja, con mayor estanqueidad y resistencia térmica.

En la **Figura 2** se muestran las variables climáticas “Temperatura” y “Humedad relativa” exteriores para la Ciudad de La Plata, donde la humedad relativa promedio en 2015 fue de 74,7% con un desvío

estándar de 14,8%; y la temperatura promedio alcanzó un valor de 19°C con un desvío estándar de 5,5°C con máxima absoluta estival de 35,4°C en enero y mínima absoluta de 3,4°C en el mes de junio.

Gracias a contar en la región con clima benigno y templado, los edificios no cuentan con equipamiento de acondicionamiento que permita su uso para la conservación de bienes. Los problemas que se encuentran son alcanzar los estándares internacionales de T y HR para la conservación de los materiales sin contar con edificios adecuados desde el punto de vista de la infraestructura y equipamiento oneroso desde lo energético, y discernir si dichos estándares son aplicables al clima local con los tipos edilicios existentes.

Figura 1: Psicrometría comparada de invierno y verano en Turín, Italia (44°LATN) y La Plata, Arg. (34°LATS)



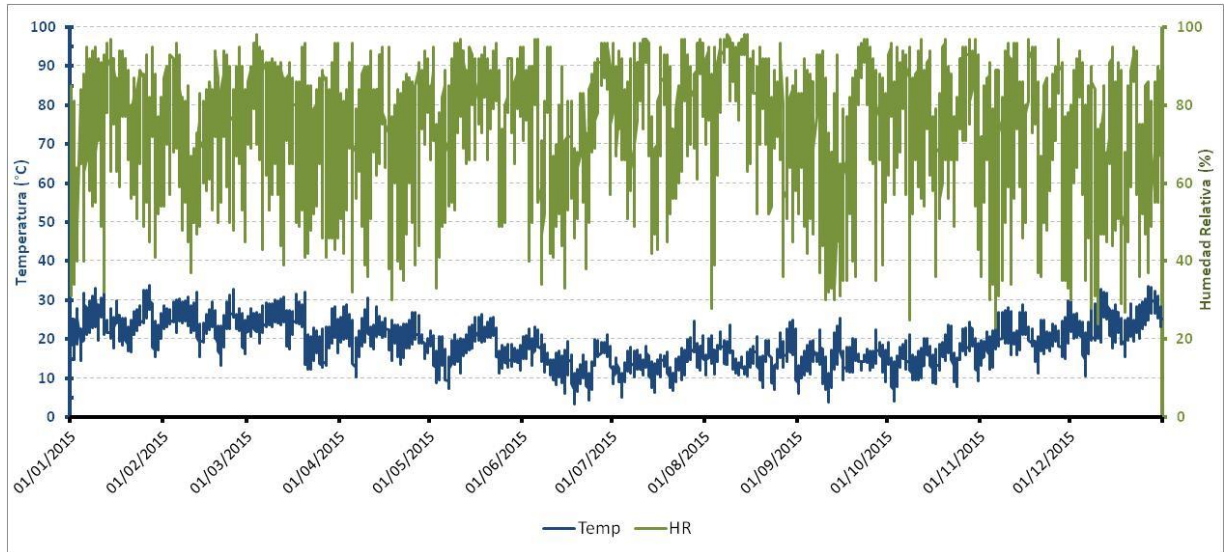
Fuente: Elaboración propia sobre datos de temperatura y humedad relativa exterior, obtenidos mediante datalogges.

Resultados

Garry Thomson apunta a trabajar principalmente sobre tres elementos para prevenir el degrado: la luz, la humedad relativa y la calidad del aire. Como se refiere a colecciones de museos, la luz es un medio para la comunicación de las obras. Sin embargo la luz como fuente de energía tiene una componente térmica que el autor no descarta. Con respecto a la HR, Thompson establece que como máximo debe alcanzar el 65% teniendo en cuenta de que en 70% existe la posibilidad de que se desarrollen mohos. Como mínimo, y con motivo del riesgo de resquebrajamiento de las hojas de papel, estipula 45%. Luego de determinar el rango sugiere la selección de un valor dentro del mismo

y “mantenerse fija de día y de noche, en invierno y en verano, en tiempo seco o húmedo” (1998, p. 90).

Figura 2: Temperatura y humedad relativa para la Ciudad de La Plata, año 2015.



Fuente: Estación Observatorio UNLP - La Plata

Igualmente, en otro apartado recomienda no alejarse del 50% a 55%, tolerando una variación de 4 o 5%, derivada de la precisión que otorgan los equipos de climatización, aunque admite que no cuenta con estadísticas suficientes como para determinarlo a ciencia cierta (1998, p. 118). Martens (2012) indica que dicho 50% deriva de la HR media anual europea y que fue propuesta por el hecho de acercarse a la condición natural, y no por ser benigna para las colecciones.

El autor no considera a la T como una variable a controlar en sí misma, sino como factor que incide en la HR de una mezcla de aire determinada. Por lo tanto explica mediante el diagrama psicrométrico los riesgos que implican modificar la temperatura de una mezcla determinada de aire y vapor de agua entre 15° y 25°C y su incidencia en la HR.

La norma UNI 10586 llamada “Condiciones climáticas para ambientes de conservación de documentos gráficos y características de los alojamientos” (1997), define los parámetros microclimáticos para los ambientes de conservación de documentos gráficos y las características de sus recintos. Según esta Norma, los locales de depósito deben estar constantemente mantenidos a una T entre 14°C y 20°C; la HR debe mantenerse constante a un valor entre 50% y 60%. La tolerancia dentro de estos límites es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $\pm 5\%$ entre distintos puntos del local u oscilaciones diarias o estacionales. En locales de consulta y lectura la temperatura debe estar comprendida entre 18° y 23°C y la HR entre el 50% y el 65%. Tales condiciones deben estar garantizadas aún en momentos de máxima afluencia de personal y visitantes. Si hubiese una diferencia mayor a 4°C y 5% entre éste local y el depósito, los documentos gráficos deberán ser aclimatados gradualmente en forma preventiva.

La norma UNI 10829 (1999) denominada "Bienes de interés histórico y artístico. Condiciones ambientales de conservación. Mediciones y análisis" describe los procedimientos que se deben realizar para la evaluación de un espacio de conservación. También brinda información genérica para diferentes tipos de materiales, entre ellos objetos artísticos de papel. Luego de aclarar que para

soportes en papel el conservador deberá remitirse a la 10586, establece que la temperatura deberá mantenerse entre 18°C y 22°C con una variación máxima de 1,5°C y la humedad relativa entre 40% y 55% con variación de 6%.

Las normas estadounidenses ASHRAE, creadas por la sociedad de ingenieros en calefacción y aire acondicionado se orientan a la eficiencia energética, la calidad del aire interior y la sostenibilidad en edificios. El capítulo 23 del manual ASHRAE *Handbook* 2011 denominado Museos, galerías, archivos y bibliotecas estudia los efectos del ambiente en las colecciones. Las causas que atentan a la conservación de los materiales según la Norma son: la luz, la humedad relativa, la temperatura, la contaminación, infestación de plagas, impactos y vibraciones, emergencias naturales, fallas edilicias, y robo y vandalismo (ASHRAE, 2011). Luego de un extenso análisis de bibliografía existente establece parámetros de diseño y objetivos de comportamiento en cuanto a temperatura y humedad relativa. Basada en varios trabajos de S. Michalski, en el que propone fijar la temperatura entre 15° y 25°C y la humedad relativa en 50% Para salas de lectura y préstamo, exposición y depósito. Luego propone una clasificación de condiciones de conservación en 5 clases o categorías donde indica la fluctuación admitida y el riesgo que acarrea dicha variación a *setpoint* ideal establecido (**Tabla 1**).

En la clase AA no existe riesgo de daño mecánico para la mayoría de las piezas. La fluctuación diaria y espacial es de ±5% y 2K. El setpoint puede modificarse según la estación del año en ± 5K, pero no admite cambios en HR. En la clase A existe riesgo menor para piezas muy vulnerables, y no hay riesgo mecánico en otro tipo de materiales y libros. Esta clase propone dos condiciones con riesgo similar: fluctuación diaria y espacial de ±5% y 2K con ajuste estacional de ±10% de humedad relativa y +5K y – 10K; o ±10% y 2K sin cambios estacionales de humedad relativa y +5K y – 10K en T. La clase B otorga riesgo moderado de daño mecánico a artefactos muy delicados, y riesgo menor al resto de los materiales. La precisión del control será de ±10% de humedad relativa y ±5K de temperatura para fluctuaciones diarias y espaciales y para ajuste estacional ± 10% y +10K pero sin superar 30°C. La clase C alcanza a prevenir los riesgos extremos, aunque para la mayoría de los libros el riesgo es mínimo. Establece que la humedad relativa deberá estar entre 25% y 75% todo el año y la temperatura raramente superar los 30°C y generalmente por debajo de 25°C.

Tabla 1: Especificaciones de T y HR para colecciones.

| Clase | Fluctuación diaria y espacial | Ajuste estacional |
|---|--|-------------------------------|
| AA. Sin riesgo de daño mecánico para la mayoría de las piezas | ± 5% ± 2K | HR sin cambios. ± 5K |
| A. Existe riesgo menor para piezas muy vulnerables, y no hay riesgo mecánico en otro tipo de materiales y libros | ± 5% ± 2K | ± 10% . +5K / -10K |
| | ± 10% ± 2K | HR sin cambios. +5K / -10K |
| B. Riesgo moderado de daño mecánico a artefactos muy delicados, y riesgo menor al resto de los materiales | ± 10% ± 5K | ± 10%. +10K pero menor a 30°C |
| C. Prevenir los riesgos extremos | 25% / 75% todo el año. Temperatura rara vez sobre 30°C, generalmente menor a 25°C. | |
| D. Prevenir humedad | HR ≤ 75%. | |

Fuente: ASHRAE 2011

La clase D evita las deformaciones por exceso de humedad, así como la aparición de mohos y corrosión, sin embargo implica riesgo de daño por desecación y fractura por falta de humedad. Prescribe una humedad relativa inferior al 75%. Luego, basado en Conrad (1995) resume un estudio (**Tabla 2**) en el que clasifica los tipos de edificio con las clases de control posibles.

Tabla 2: Clasificación de control potencial de acuerdo con las características del edificio.

| Tipo | Construcción típica | Sistema usado | Tecnología | Clase de control posible |
|------|--|---|---|---|
| I | Estructura abierta | Sin sistema | Nada | D (si el clima es benigno) |
| II | Tinglado | Extractores, apertura de ventanas, ventiladores, ático ventilado, sin calefacción | Ventilación | C (si el clima es benigno) D si el clima es húmedo |
| III | Ladrillo sin aislación, marcos y paredes laterales, ventanas con vidrio simple. | Calefacción por conductos, ventilación y extracción de verano calefacción higróstico para el control de invierno. | Calefacción y ventilación | C (si el clima es benigno) D si el clima es caliente y húmedo |
| IV | Ladrillo pesado, argamasa con yeso. Construcción pesada, con contra ventanas. | Calor por conductos bajo nivel. Refrescamiento en verano, control de encendido y apagado, refrescamiento DX, poca des humidificación, capacidad de recalentamiento. | HVAC Básico | B (si el clima es benigno) C (si el invierno es templado) |
| V | Estructuras aisladas, doble vidriado, retardante de vapor, puertas dobles | Calefacción por conductos, refrigeración, recalentamiento, humidificación con control de zonas muertas | Control climático, a menudo con desvíos estacionales. | AA (si el invierno es templado) |
| VI | Construcción de paredes metálicas. habitaciones interiores con paredes selladas y ocupación controlada | Calefacción y refrigeración espacial, y control de humedad con control de estabilidad constante con precisión | Ambientes constantes especiales. | AA / A. Fresco, Frío, Seco |

Fuente: Conrad (1995) consultado en ASHRAE 2011.

La norma británica elaborada por el *British Standards Institution* (BS) 5454 del año 2000 se compone de recomendaciones para el almacenar y exhibir documentos de archivo, incluyendo material de biblioteca. Las recomendaciones aplican a nuevos edificios específicamente creados para tal fin o adaptaciones de edificios existentes. La especificación de T dispone elegir una temperatura entre 16°C y 19°C y luego aplicarle un margen de variación de $\pm 1K$. Para HR, la norma prescribe seleccionar un valor del rango entre 35% y 60% y aplicarle un rango de tolerancia de 5% anual superior o inferior al valor adoptado.

En la versión actualizada, denominada PD5454:2012 en rango térmico propuesto es de 13°C a 20°C. Según Padfield et al. (2014) este límite superior no deriva de un estudio que pruebe que existe daño químico o físico fuera del rango de 13°C / 20°C. Estos autores proponen para el norte de Europa un límite térmico superior de 25°C que permitiría que el diseño sea completamente pasivo. Esto fue validado en la declaración del Instituto Internacional de Conservación (IIC 2014) y por el comité de conservación del Consejo Internacional de Museos, que se basan en literatura previa que establece límites de 15°C a 25°C.

Bell y Faye (1980) tiene el objetivo de ayudar a arquitectos y archivistas a buscar soluciones inherentes a los edificios de archivos y su equipamiento especial. La zona subtropical plantea desafíos para los que se proponen soluciones. Las pautas se acercan a la situación climática de interés local, a pesar de que la Provincia de Buenos Aires no es precisamente subtropical.

Para la conservación de los documentos históricos que se conservan de manera definitiva, los autores proponen un rango óptimo de conservación para documentos de papel entre 55% y 65% y 15° a 20°C, con una tolerancia de -10% de humedad relativa y +2K de temperatura.

Para otros materiales como películas, microfilms, películas de celulosa y cintas magnéticas el rango será de 50 - 60% y 10° - 16°C. Menos de 50% con una temperatura entre 22 y 39°C llevaría a la desecación de los documentos y por el contrario, más de 70% con 20° a 25°C permite la formación de mohos.

Según Maekawa, Beltran, Carvalho, & Toledo, (2011) en climas cálidos y húmedos, mantener la HR estable, menor a 65% y permitiendo la temperatura oscilar entre 22°C y 28°C es inofensivo para las colecciones de materiales estables y para el edificio que las contiene, dado que evita la condensación superficial. Además son condiciones aptas para proveer confort humano y pueden lograrse por medio de estrategias pasivas, que reducen considerablemente el uso de aire acondicionado y por lo tanto, el consumo energético.

Tabla 3: Resumen de datos extraídos de la bibliografía analizada.

| Fuente | Set point | Fluctuación admitida |
|-------------------|--------------------|----------------------|
| Thomson | 15°/25°C-50%/55% | ±2°C - ±5% |
| Bell & Faye | 15°/20°C - 55%/65% | +2°C - 10% |
| Padfield | 15°/25°C | - |
| UNI 10586:1997 | 18°/23°C - 50%/65% | ±4°C - 5% |
| ASHRAE 2011 ("C") | 15°/25°C - 50% | 25%/75% T<30°C |
| PD5454:2012 | 13°/20°C-35%/60% | ±1°C - 5% |
| Maekawa et al. | < 28°C - <65% | - |

Fuente: Thomson (1998); Bell & Faye (1980); Padfield (2014); ASHRAE (2011); BSI (2000)

Conclusiones

De lo estudiado anteriormente se pueden reconocer los argumentos que utilizan los principales autores para establecer los rangos que proponen.

El máximo de humedad relativa admisible está determinado por la proliferación de hongos al llegar a 70%, por lo que establece 65% con un margen de error mensurable, considerando el margen de error del instrumental. Algo similar sucede con el límite inferior, que se propone 45% para evitar la

deseccación de las fibras de papel. Dado que la recomendación del 50% propuesta por Thomson derivaría de la HR media anual europea, en la **Figura 2** se estudian la analogía local para determinar dicha variable. De este análisis se desprende que la humedad relativa promedio en 2015 fue de 74,7% con un desvío estándar de 14,8%; y la temperatura promedio alcanzó un valor de 19°C con un desvío estándar de 5,5°C. Esto indica que teniendo en cuenta la elevada humedad exterior, se debe mantener el máximo admisible de 65%, evitando alcanzar la zona de riesgo de daño biológico.

La bibliografía no explica cuáles son los motivos para determinar un valor límite de la temperatura, pero se observa que proponen valores que combinan la intención de acercarse a la condición de confort de usuarios y a evitar la condensación superficial derivada de la humedad relativa. Entonces dentro de ese rango, una temperatura entre 15° y 25° C no alcanzará el punto de saturación y está dentro del rango promedio anual de la región, calculado como 19°C ± 5,5°C.

Los valores permitidos de variación diaria y estacional son estrechos. La norma ASHRAE es la más aclaratoria respecto del riesgo que implica cada variación, y dado que para la categoría "C" el riesgo es mínimo para la mayoría de los libros, y es posible de alcanzar según la información de la Tabla 2 en que se explica que edificios sin aislación, de mampostería y vidrios simples como son los edificios que se encuentran en la región, se adopta este criterio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La precaución al utilizar esta clasificación debe recaer en que el riesgo que implica cada clase sólo está garantizado cuando el 100% del tiempo se verifica el cumplimiento de las condiciones. Por lo tanto, cuando una institución selecciona una clase con un riesgo asociado a ella, debe observarse cuantitativamente un porcentaje considerable de tiempo en el que las condiciones de la clase se encuentran satisfechas, y cualitativamente analizar lo que sucede en los momentos en los que la clase no se cumple.

Del estudio de las variables que motivan a los estándares internacionales, junto con el análisis del clima de una localidad de la región bioclimática IIIb, se propone como adecuado para la conservación de bienes culturales un rango de setpoint de 15° a 25°C y 55% de humedad relativa con oscilación estacional de 10% y 10°C sin superar los 28°C. De la misma manera que indican todas las normativas, estos valores son generales y no contemplan materiales o situaciones particulares, para los cuales se deberá indagar específicamente.

Bibliografía

- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2011). Chapter 23. Museums, galleries, archives, and libraries. En *2011 ASHRAE Handbook HVAC Applications (SI Edition)*. (pp. 23.1-23.22). Atlanta: ASHRAE.
- British Standards Institution. (2012). *Guide for the storage and exhibition of archival materials*. London: BSI.
- Diulio, M. de la P., García Santa Cruz, M. G., Hernández, M., Gómez, A., & Czajkowski, J. (2015). Monitoreo estival de condiciones ambientales en archivo de protocolos del Colegio Escribanos de Buenos Aires. En *Actas Arquisur 2015. Ciudades vulnerables. Proyecto o Incertidumbre*. La Plata.
- Diulio, M. de la P., & Gómez, A. (2014a). Calidad termo higrométrica en bibliotecas: Evaluación respecto de los parámetros de admisibilidad. *Revista Conceptos*, 89(491), 57-77.

- Diulio, M. de la P., & Gómez, A. F. (2014b). Propuesta metodológica de evaluación higrotérmica para la conservación preventiva del papel. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(1), 36-45.
- Maekawa, S., Beltran, V., Carvalho, C., & Toledo, F. (2011, agosto). Climate controls in a historic house museum in the tropics: a case study of collection care and human comfort. *International Preservation News - IFLA*, 54, 11-16.
- Maekawa, S., & Toledo, F. (2011, agosto). A collection climate control system for an ethnographic storage of amuseum in north of Brazil. *International Preservation News - IFLA*, 54, 22-26.
- Martens, M. H. J. (2012). *Climate risk assessment in museums: degradation risks determined from temperature and relative humidity data*. Eindhoven: Technische Universiteit.
- Pavlogeorgatos, G. (2003). Environmental parameters in museums. *Building and Environment*, 38(12), 1457-1462. [http://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00113-6](http://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00113-6)
- Thomson, G. (1998). *El Museo y su entorno*. Tres Cantos (Madrid): Akal.
- Tim Padfield, Morten Ryhl-Svendsen, Poul Klens Larsen, Mette Jakobsen, & Lars Aasbjerg Jensen. (2014). Conservation physics: Climate control in the archive of the Arnamagnaeen Institute. Recuperado 8/10/2015, a partir de <http://www.conservationphysics.org/arna/arnamagnaeen-archive.php>
- UNI. (1997). 10586. *Condizione climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti* (Norma Italiana) (p. 8). Milano: Ente Nazionale di Unificazione.
- UNI. (1999). 10829. *Condizioni ambientali di conservazione, misurazione ed analisi*. (Norma Italiana) (p. 20). Milano: Ente Nazionale di Unificazione.

Autores

María de la Paz Diulio es arquitecta, becaria doctoral CONICET (LAyHS - UNLP) y ayudante de cátedra diplomada ordinaria FAU-UNLP. Correo electrónico: mpdiulio@fau.unlp.edu.ar

Analía Fernanda Gómez es arquitecta, investigadora adjunta CONICET (LAyHS - UNLP) y profesora titular ordinaria FAU-UNLP. Correo electrónico: anygomez@gmail.com

Estudio interdisciplinario de diagnóstico ambiental para la conservación preventiva en el Museo de La Plata

Daniela S. Nitíu^{1a}, Andrea C. Mallo^{1b}, Mauro G. García Santa Cruz^{2c}, Analía F. Gómez^{2d}

Resumen

Se presenta la primera experiencia interdisciplinaria de evaluación y diagnóstico de calidad ambiental y de bienes culturales de la Sala Egipcia del Museo Ciencias Naturales de La Plata realizada por la Cátedra de Palinología de la FCNyM (UNLP) y el Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable de la FAU (UNLP). Se tomaron muestras del aire ambiental con una bomba Z-LiteIAQ que captura material biológico, principalmente esporas de hongos. Simultáneamente se realizaron mediciones de temperatura (T) y humedad relativa (HR) en el exterior e interior de dicha Sala, como en el interior de dos vitrinas conteniendo dos ataúdes, utilizando dataloggers HOBO UX100-003. El análisis microbiológico reveló mayor diversidad y concentración de 7 tipos fúngicos en una de las vitrinas donde la variable fuera de rango fue la HR, condición que afecta la biología de estos organismos. Asimismo, la temperatura muestra una variación diaria óptima comportándose de forma similar en todos los puntos estudiados.

Palabras clave: bienes culturales; calidad microbiológica y ambiental; Museo de La Plata; Sala Egipcia.

Interdisciplinary study of environmental diagnosis for preventive conservation in the La Plata Museum

Abstract

The first interdisciplinary experience of assessment and diagnosis of environmental quality and cultural heritage was accomplished by the Department of Palynology FCNyM (UNLP) and the Laboratory of Architecture and Sustainable Habitat FAU (UNLP) in the Egyptian Room of the La Plata Natural Sciences Museum. Ambient air samples were taken with a Z-LiteIAQ pump capturing biological material mainly fungal spores. Simultaneously measurements of temperature (T) and

¹ Cátedra de Palinología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. ^a Dra. en Ciencias Biológicas, Investigador CONICET, danielanitiu@yahoo.com.ar. ^b Lic. en Ciencias Biológicas, Investigador Principal CIC malloa2001@yahoo.com.ar.

² Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UNLP. ^c Arquitecto, Becario Doctoral CONICET, pecmae@gmail.com. ^d Arquitecta, Investigadora CONICET, mouseion@ymail.com.

relative humidity (RH) outside and inside the room, and within two showcases containing two coffins, were performed using dataloggers HOBO UX100-003. Microbiological analysis revealed greater diversity and concentration of 7 fungal types in one of the showcases where the variable out of range was HR, a condition that affects the biology of these organisms. Also, the temperature showed optimum daily variation behaving similarly at all time points studied.

Keywords: cultural goods; microbiological and environmental quality; La Plata Museum; Egyptian room.

Introducción

Durante la vida útil de los edificios, el envejecimiento natural de los materiales puede tener lugar debido a diferentes procesos físicos, químicos y biológicos. El biodeterioro es un importante factor crítico para la durabilidad y el uso de diferentes materiales. El nivel y duración del estrés hídrico relacionado con la temperatura son los factores más críticos para la durabilidad y la vida útil de los materiales de construcción. Además, el fenómeno de “subtropicalización” del clima provocado por el Cambio Climático ha modificado el régimen de lluvias en la región incidiendo en los factores críticos de temperatura y humedad (Gómez, A. 2009).

La aparición de mohos y daño por proliferación por hongos en los edificios es causada por niveles de humedad que exceden la tolerancia de las estructuras. Además, el desarrollo y colonización por estos organismos es causado por el envejecimiento natural de los materiales y por el daño causado por la humedad (Viitainen, 2010). Diferentes organismos tales como bacterias, hongos e insectos crecen y viven en los materiales constructivos (Tabla 1). Muchos de estos materiales pueden sufrir problemas por el crecimiento de microbios y hongos. Los hongos típicos que se pueden hallar en edificios “enfermos” son *Acremonium*, *Aspergillus* (e.g. *fumigatus*), *Aureobasidium pullulans*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium* (e.g. *herbarum*, *sphaerospermum*), *Mucor*, *Penicillium* (e.g. *brevicompactum*) and *Stachybotrus* (e.g. *atra*). Estos tipos fúngicos también se hallan frecuentemente en suelo, materia en descomposición y residuos. Por otra parte, las algas y líquenes se hallan más frecuentemente en superficies y estructuras exteriores siendo algunos de sus representantes más comunes los géneros *Caloplaca* y *Lecanora* (Valentin, 2010).

Como puede apreciarse, el control de los parámetros ambientales de temperatura, HR y radiación simultáneamente con estrategias combinadas de monitoreo aerobiológico proporciona nuevas herramientas para la evaluación del tiempo de vida de los diferentes materiales y la estructura del edificio. Consideramos que para poder establecer una estrategia de control ambiental debemos evaluar los diversos factores que pueden afectar la conservación y cuidado de las colecciones, con el propósito de desarrollar las soluciones apropiadas.

Tabla 1. Organismos causantes de biodeterioro y condiciones ambientales en las cuales desarrollan.

| Tipo de organismo | Daños y problemas que originan | Rangos de HR/contenido de agua (MC) | Rangos de temperatura (°C) |
|-----------------------|---|---|----------------------------|
| Bacterias | Biocorrosión de diferentes materiales, olor, problemas de salud. | Material húmedo RH > 97 % | -5 a +60 |
| Mohos y hongos | Desarrollo en superficie de distintos materiales, olor y problemas de salud | RH ambiente > 75 %, depende de la duración, temperatura y las especies fúngicas | 0 a +50 |

| | | | |
|----------------------------|--|--|---------|
| Hongos de pudrición | Diferentes tipos de deterioro en madera (pudrición blanda, la podredumbre parda o pudrición blanca), también muchos otros materiales pueden ser deteriorados con pérdida de resistencia. | RH > 95 %, MC > 25 - 120 %, depende de la duración, temperatura y materiales | 0 a +45 |
| Algas y Líquenes | Desarrollo en superficie de distintos materiales expuestos al deterioro en el exterior. | Material húmedo, requieren también de nitrógeno y bajo nivel de pH | 0 a +45 |
| Insectos | Diferente tipo de daños en materiales orgánicos, fallas superficiales y pérdida de resistencia. | RH > 65 % depende de la duración, temperatura, las especies y el ambiente. | 5 a +50 |

Fuente: Viitanen, H.; Vinha, J.; Salminen K.; Ojanen, T.; Peuhkuri, R.; Paajanen, L.; Lähdesmäki, K. (2010).

Esta investigación tiene como antecedentes los Proyectos desarrollados en forma independiente por investigadores de la Cátedra de Palinología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo UNLP (1, 2, 3) y por investigadores del Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNLP (4 y 5) que se detallan a continuación:

1. “Desarrollo de estudios aerobiológicos en ambientes exteriores e interiores en un área urbana”. PIP 112-201101-00087. Cátedra de Palinología FCNyM, UNLP.
2. “Estudio microbiológico de los sitios que albergan las momias del Museo de Ciencias Naturales de La Plata. Biodeterioro y Conservación”. PICT 2013-0418. Cátedra de Palinología FCNyM, UNLP.
3. “Estudio micológico de las Colecciones Antropológicas del Museo de Ciencias Naturales de La Plata. Biodeterioro y Conservación”. N11/781. Cátedra de Palinología. FCNyM, UNLP.
4. Proyecto de Investigación y Desarrollo “Evaluación de las necesidades de control del entorno para la conservación de los museos de la Red de Museos de la UNLP. Adecuación del procedimiento del Getty Conservation Institute (GCI)”. UNLP 11/U079. Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable FAU UNLP.
5. “Desarrollo de Protocolo para evaluación y certificación de sustentabilidad en edificios para la cultura.” Beca Doctoral financiada por CONICET, Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable FAU UNLP.

Objetivo

El objetivo de esta investigación es realizar la primera Evaluación Interdisciplinaria para la Conservación y el Monitoreo Ambiental Edificio de la Sala Egipcia ubicada en el Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, considerando los factores biológicos y físico- ambientales simultáneamente mediante metodologías específicas.

Metodología

Sitio de Muestreo

En el año 2013 el Museo de la Plata (Figura 1y 2) inauguró la sala “Fragmentos de historia a orillas del Nilo”, luego de un intenso trabajo de restauración y puesta en valor de la Colección Egipcia. Dicha colección está compuesta por más de 300 piezas que incluyen bloques de arenisca pertenecientes a dinteles, frisos, jambas de puertas con inscripciones de jeroglíficos, cerámicas y dos ataúdes con sus respectivas momias. La sala posee una superficie de 300 m² y se encuentra en la planta alta del Museo (Figura 3A, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Figura 1. Fachada principal del Museo de Ciencias Naturales

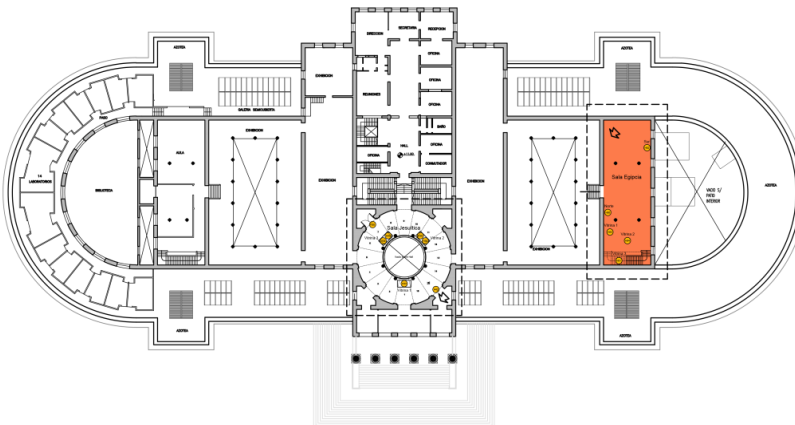


Figura 2. Calle de acceso

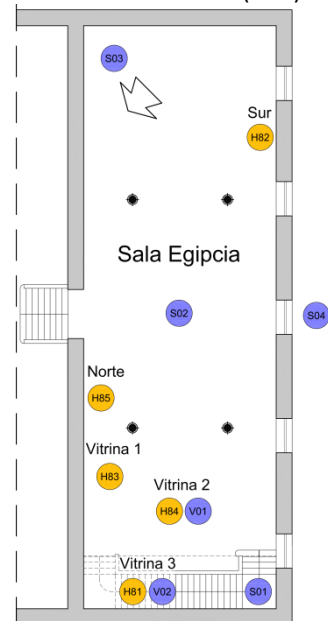


Fuente: Fotos tomadas por J. García Santa Cruz

Figura 3A. Plano del Museo de Ciencias Naturales, Planta Alta. Ubicación de la Sala Egipcia en el edificio.



3B. Ubicación de los dataloggers (amarillo) y sitios de muestreo (azul)



Fuente: Esquema de los autores sobre planos realizados por la Dirección General de Construcciones y Mantenimiento, UNLP

Figura 4. Vista general de la Sala Egipcia



Fuente: Foto tomada por J. García Santa Cruz

Figura 5. Vista general de las vitrinas



Fuente: Foto tomada por R. Vázquez

Figura 6. Vista sector Suroeste



Fuente: Foto tomada por M. García Santa Cruz

Figura 7. Vitrina 1, Enterratorio



Fuente: Foto tomada por J. García Santa Cruz

Figura 8. Vitrina 2, Tadimentet



Fuente: Foto tomada por J. García Santa Cruz

Figura 9. Vitrina 3, Herwodj



Fuente: Foto tomada por J. García Santa Cruz

Muestreo microbiológico ambiental

El estudio aerobiológico se llevó a cabo en la semana del 14 de julio de 2015 mediante un sistema volumétrico de toma de muestras que se basa en el principio de impacto inercial de las partículas aspiradas por una bomba de succión calibrada en 15 l/m que se halla conectada a un cassette Air - O - Cell. Con este sistema, las partículas de aire son aceleradas a través de una abertura de entrada y aspiradas a través de un pequeño orificio dirigido directamente a un cubreobjetos de vidrio. Éste se

halla cubierto por un medio adherente y ópticamente claro capaz de coleccionar y mantener las partículas aspiradas. A medida que el aire ingresa por el orificio, las partículas impactan en el medio de montaje, mientras que el aire se desplaza alrededor del portaobjeto hacia el exterior del cassette. El dispositivo es capaz de coleccionar muestras proporcionando un espectro más amplio de contaminantes y alérgenos potenciales que otros métodos convencionales de muestreo.

Finalizado el muestreo, ya en el laboratorio, se retiró el cubreobjetos conteniendo la muestra del cassette, se montó en un portaobjeto, se tiñó con lacto-phenol cotton blue, y se selló con esmalte.

Se observó la muestra y se identificaron las esporas con un microscopio Nikon Eclipse 200 a una magnificación de 400 X a lo largo de 7 transectas verticales. En algunos casos se utilizó una magnificación de 1000 X para lograr una identificación más exacta. Los recuentos de esporas fúngicas fueron convertidos a esporas/ l de aire/ min (Baxter, 2006). Para la identificación se utilizaron Atlas de referencia del Reino Fungi (Käärik, 1983; Barnet & Hunter, 1987; Grant Smith, 1990; Lacey & West, 2006) y bases de datos especializadas. Los rangos adecuados para la evaluación de la calidad microbiológica del aire se tomaron de acuerdo a Baxter (2006).

Se muestrearon 3 sitios en el interior de la sala por el sistema diagonal, el interior de dos vitrinas conteniendo dos ataúdes y el exterior de la sala en zona de la salida de emergencia, en todos los casos se tomaron muestras por triplicado con una exposición de 5 minutos.

Evaluación de los parámetros ambientales

Para la evaluación del edificio se utilizó la metodología desarrollada por el Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable de la FAU UNLP en el Proyecto “Evaluación de las necesidades de control del entorno para la conservación de los museos de la Red de Museos de la UNLP. Adecuación del procedimiento del Getty Conservation Institute (GCI)”. En este proyecto se adaptó a nuestra región la metodología publicada por el GCI en el documento *Modelo propuesto para evaluar las necesidades de control del entorno museístico* (Avrami et al., 1999). (Figura 3B) Esta evaluación busca describir la sensibilidad de las colecciones, el comportamiento del edificio y los riesgos que representan el medio ambiente y el hombre (Gómez et al., 2010).

Para el Monitoreo Ambiental Edificio se utilizan los lineamientos propuestos en las Normas UNI10586:1997 Documentazione: Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti, y UNI10829:1999 Beni di interesse storico e artistico: Condizioni ambientali di conservazione Misurazione ed analisi. El relevamiento de la temperatura y la humedad relativa interior, y las mediciones de temperatura y humedad relativa exterior, se realizaron con microadquisidores de datos (dataloggers). El Monitoreo se compone de cuatro campañas de medición, correspondientes a cada estación del año, por medio de las cuales se obtienen registros de la temperatura y humedad relativa con una frecuencia de 10 minutos. (García Santa Cruz & Gómez, 2014).

Considerando las características de los objetos que alberga la Sala Egipcia se determinan los valores de referencia recomendados para su conservación, correspondientes a las categorías “momias”, “madera pintada”, “cerámica”, “piedras” (Norma UNI10829:1999) (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de referencia recomendados

| Bienes de interés histórico o artístico | $\Theta 0$ | $\Delta\theta_{max}$ | HR0 | ΔHR_{max} | E _{max} | UV _{max} |
|--|------------|----------------------|---------|-------------------|------------------|-------------------|
| MATERIALES / OBJETOS DE NATURALEZA ORGÁNICA | | | | | | |
| Animales, órganos anatómicos disecados, momias | 21 a 23 | 1.5 | 20 a 35 | - | 50 | 75 |
| Colecciones etnográficas, máscaras, cuero, indumentaria de cuero | 19 a 24 | 1.5 | 45 a 60 | 6 | 50 | 75 |
| Esculturas de madera policroma, madera pintada, pintura sobre madera, iconos | 19 a 24 | 1.5 | 50 a 60 | 4 | 50 | 75 |
| MATERIALES DE NATURALEZA INORGÁNICA | | | | | | |
| Porcelana, cerámica, gres, terracota, tejas, tejas de extracción | NR | - | NR | 10 | NR | - |
| Piedras, rocas, minerales, meteoritos (porosos) estables | 19 a 24 | - | 40 a 60 | 6 | NR | - |

Fuente: Norma UNI10829:1999

Resultados y Discusión

El análisis microbiológico de los 6 sitios estudiados arrojó un total de 14 tipos esporales. En la Tabla 3 se identifican los tipos hallados y su presencia por sitio.

Tabla 3. Tipos morfológicos identificados en cada sitio de muestreo. S1 a S3: sitios de muestreo en el interior de la Sala; S4: exterior; V1: vitrina Sarcófago Tadimentet y V2: vitrina Sarcófago Herwodj

| Tipos morfológicos | S1 | S2 | S3 | S4 | V1 | V2 |
|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| <i>Agaricus</i> | | | X | | | |
| <i>Agrocybe</i> | | | | | X | X |
| <i>Arthrinium</i> | | X | | | | |
| <i>Bipolaris</i> | | | | | | X |
| <i>Cladosporium cladosporioides</i> | X | X | X | X | X | X |
| <i>Cladosporium herbarum</i> | | X | | X | | X |
| <i>Didimospora</i> | | | | | | X |
| <i>Ganoderma</i> | X | X | X | | | |
| <i>Leptosphaeria</i> | X | X | | X | | |
| <i>Myxomycota</i> | | X | | | | |
| <i>Sordaria</i> | | | | X | X | X |
| <i>Stachybotrys</i> | X | X | | X | | |
| <i>Tipo Puccinia</i> | | | | X | | |
| <i>Torula</i> | X | | | | | |

Fuente: Tabla realizada por los autores

Al evaluar las muestras tomadas en la sala se halló la mayor concentración promedio en el Sitio 1 con 127 esporas/m³ y el Sitio 2 presentó 121 esporas/m³. El Sitio 3 fue el de menor concentración media. En el Sitio 4 (exterior) se registró similitud en la composición fúngica respecto del interior. En las vitrinas se halló una concentración media de 63 esporas/m³ en V1 y 98 esporas/m³ en V2 siendo esta última la más diversa (Figura 10). Asimismo las vitrinas comparten 4 tipos esporales con el ambiente de la sala. Las concentraciones medias en la sala y las vitrinas no superan los estándares requeridos para un ambiente saludable (Baxter, 2006). Las similitudes en la composición de la microbiota de las vitrinas y la sala pone de manifiesto la dinámica de circulación de las partículas.

Figura 10. Promedios de concentración en cada sitio de muestreo

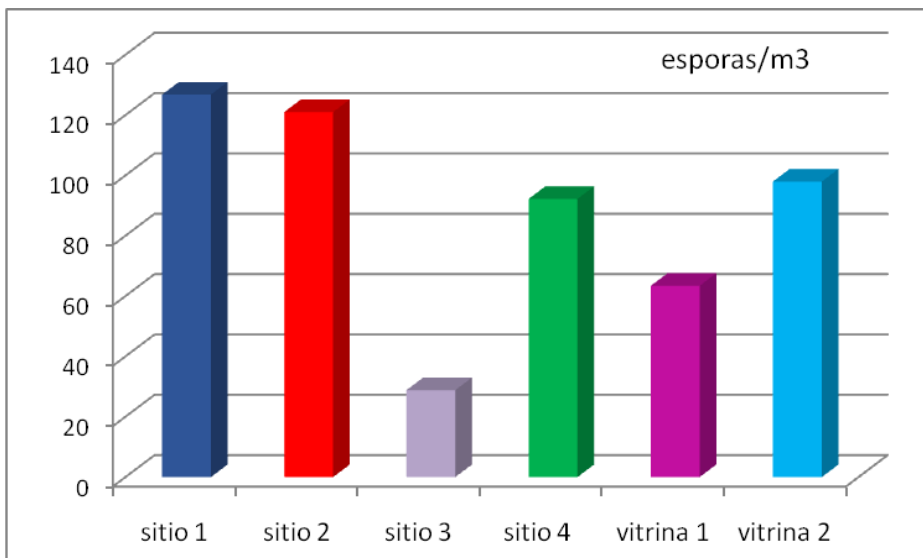
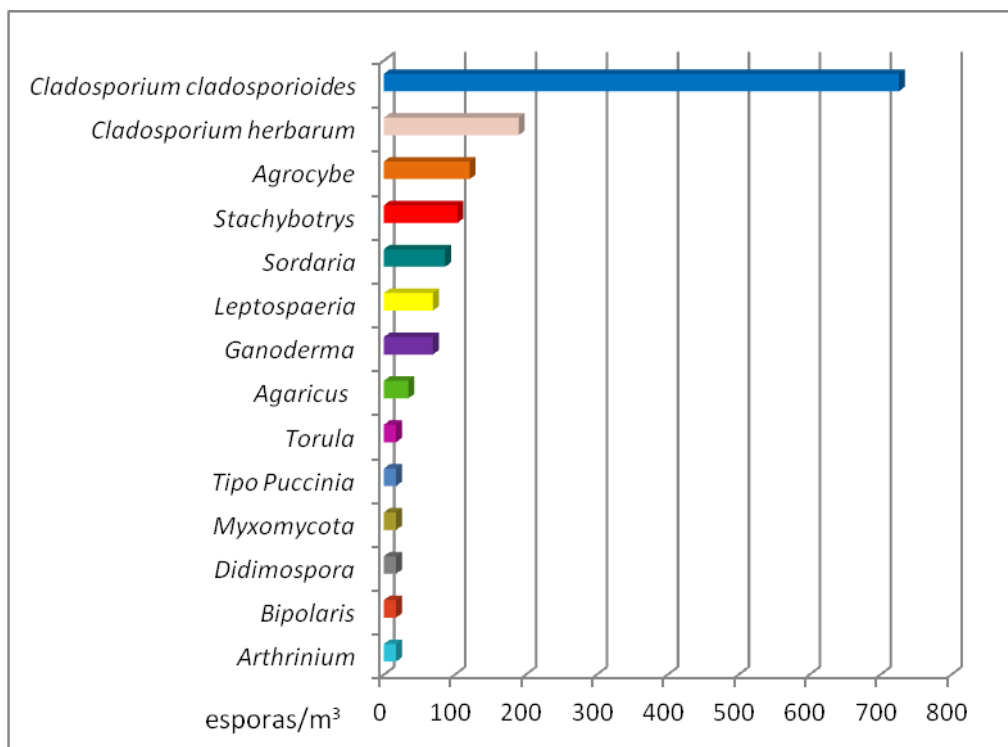


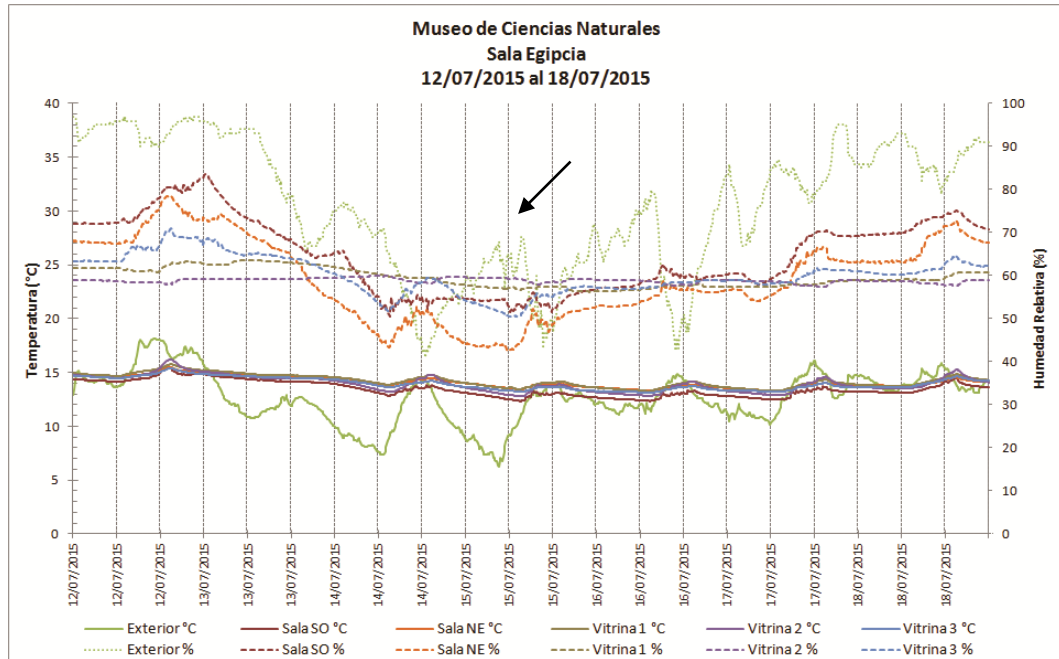
Figura 11. Concentración total de esporas de los tipos fúngicos identificados en todos los sitios de muestreo



Fuente: Gráficos realizados por los autores

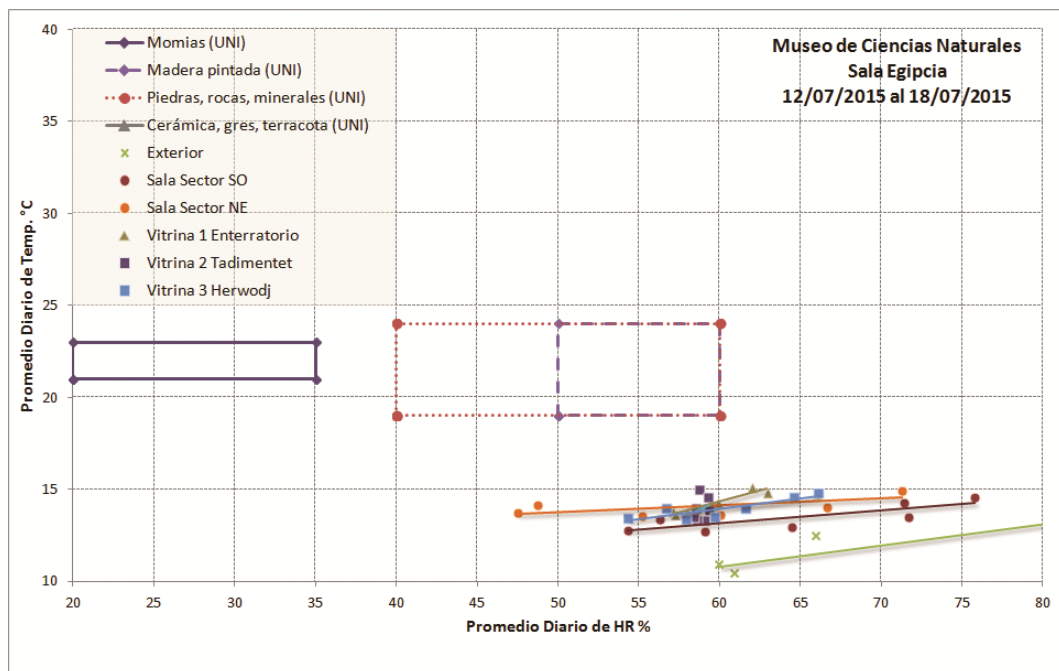
Con relación a las concentraciones totales, el tipo *Cladosporium cladosporioides* es el más representativo con alrededor del 50 % de la concentración total (Figura 11). Cabe destacar que se trata de un bioaerosol de distribución cosmopolita y característico de ambientes interiores y exteriores.

Figura 12. Histograma de temperatura y humedad relativa en el período del 12/7 al 18/7/2015. La flecha señala el día en que fue realizado el muestreo aerobiológico



Fuente: Gráfico realizado por los autores

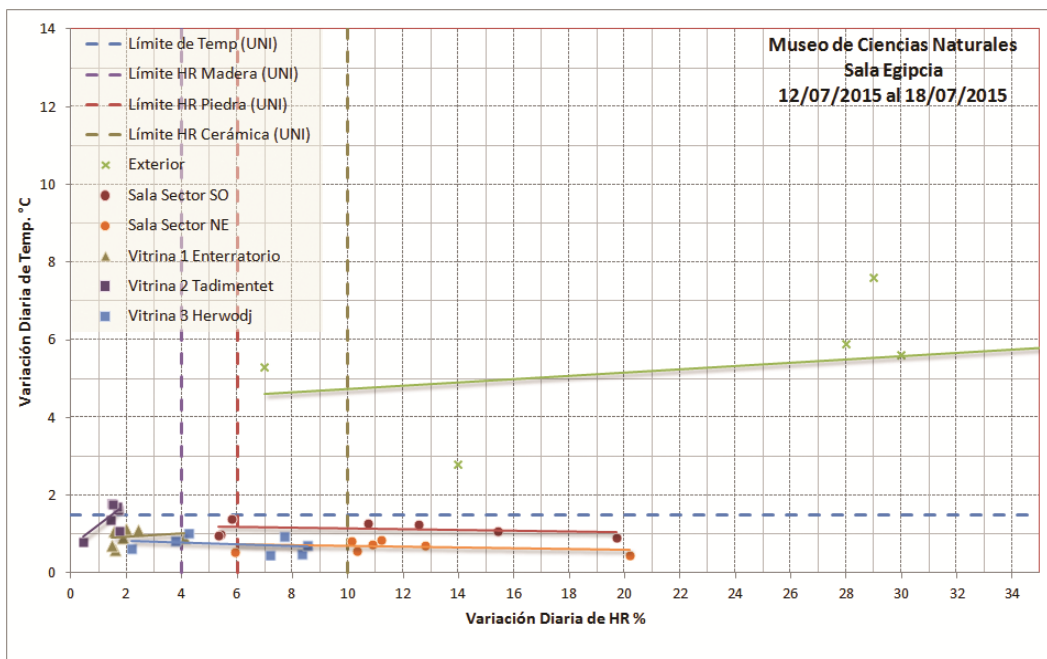
Figura 13. Promedios diarios de temperatura y humedad relativa



Fuente: Gráfico realizado por los autores

El comportamiento de los parámetros de temperatura y humedad relativa en los sitios estudiados puede analizarse a partir del Histograma que se presenta en la Figura 12. La temperatura se comporta de forma similar en todos los casos y la mayor dispersión se da en los valores de humedad relativa. Los promedios diarios de temperatura son menores a los valores óptimos, situación lógica por ser mediciones de invierno. Los promedios diarios de humedad relativa en Sala cumplen en el 46% con los valores recomendados, aunque en las vitrinas 2 y 3 están en el doble de humedad relativa recomendada (Figura 13). La variación diaria de temperatura es óptima para todos los dataloggers. La variación diaria de humedad relativa es óptima solo para las vitrinas 1 y 2 (Figura 14).

Figura 14. Variación diaria de la temperatura y humedad relativa



Fuente: Gráfico realizado por los autores. Valores límite tomados de la Norma UNI10829:1999

Tabla 4. Datos de la Campaña de Invierno de temperatura y humedad relativa

| CAMPAÑA | TEMPERATURA °C | | | | | | HUMEDAD RELATIVA % | | | | | AMBAS | |
|------------------------|----------------|-------|-------|------|------|------------------|--------------------|-------|-------|-------|------|------------------|---------------|
| | PROM | MAX | MIN | Δ T | DES | Cumple Condición | PROM | MAX | MIN | Δ HR | DES | Cumple Condición | Cumple T Y HR |
| INVIERNO | | | | | | | | | | | | | |
| Sala Sector SO | 13,49 | 15,44 | 12,34 | 3,10 | 0,73 | 0% | 64,72 | 83,70 | 50,47 | 33,23 | 8,58 | 40% | 0% |
| Sala Sector NE | 14,12 | 15,49 | 13,31 | 2,18 | 0,54 | 0% | 59,34 | 78,54 | 42,47 | 36,07 | 9,40 | 53% | 0% |
| Vitrina 1 Enterratorio | 14,22 | 15,80 | 13,26 | 2,54 | 0,59 | 0% | 59,50 | 63,57 | 56,28 | 7,29 | 2,23 | 0% | 0% |
| Vitrina 2 Tadimentet | 13,96 | 16,25 | 12,80 | 3,45 | 0,73 | 0% | 58,87 | 59,92 | 57,31 | 2,61 | 0,55 | 0% | 0% |
| Vitrina 3 Herwodj | 13,96 | 15,42 | 13,09 | 2,33 | 0,57 | 0% | 60,08 | 70,92 | 50,40 | 20,52 | 4,35 | 0% | 0% |

Fuente: Tabla realizada por los autores.

A partir del análisis de los datos registrados se puede afirmar que la variable fuera de rango es la humedad relativa (Figura 13). Aunque la variación diaria es amortiguada por las vitrinas 1 y 2, las mediciones realizadas en la vitrina 3 evidencian una variación diaria de la HR de hasta 8% siendo el doble de la recomendada para los materiales que contiene (Figura 14). La Tabla 4 sintetiza los valores medios, máximos, mínimos y variación de la temperatura y la humedad relativa del período medido. Incluye además una variable cualitativa al determinar el porcentaje de los registros tomados que cumplen con las condiciones de temperatura y humedad relativa recomendadas (Tabla 2). Las

temperaturas registradas por los cinco dataloggers son menores a las recomendadas, sin embargo se trata de una campaña de invierno por lo que estos valores resultan aceptables. En el caso de la humedad relativa los valores registrados solo cumplen entre un 40% y 53% con los recomendados para la conservación de las areniscas, mientras que ninguno de los valores registrados en el interior de las vitrinas se encuentra entre los recomendados según los materiales que contienen.

Conclusiones

Las concentraciones promedio de las esporas fúngicas de cada uno de los sitios analizados no superan los estándares recomendados para edificios no contaminados. Asimismo, las bajas concentraciones y riqueza pueden deberse a la estacionalidad, motivo por el cual es importante realizar mediciones en otras épocas del año para corroborar la adecuación de los parámetros físicos y biológicos.

El análisis microbiológico reveló, además, mayor diversidad y concentración de tipos esporales en una de las vitrinas donde la variable fuera de rango fue la humedad relativa, condición que afecta la biología de estos organismos. Sin embargo las concentraciones no indican riesgo para los ataúdes exhibidos.

Esta experiencia interdisciplinaria aporta elementos de diagnóstico desde distintas disciplinas que contribuyen a una evaluación integral en espacios de guarda de interés cultural y patrimonial.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero concedido por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) PIP 112-201101-00087, Agencia Foncyt PICT 2013-0418 y a el Proyecto de Incentivos a la Investigación FCNyM, UNLP N11/781. Asimismo agradecen a la Unidad de Conservación y Exhibición del Museo de La Plata (UCE) por su incondicional colaboración en la toma de muestras.

Fuentes

Plano del Museo de Ciencias Naturales: Dirección General de Construcciones y Mantenimiento, UNLP.

Mediciones exteriores: Departamento de Sismología e Información Meteorológica, FCAG UNLP.

Mediciones interiores: Cátedra de Palinología, FCNyM UNLP y Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable, FAU UNLP.

Fotografías: Sr. Rolando H. Vázquez, Unidad de Conservación y Exhibición del Museo de Ciencias Naturales de La Plata. Lic. Jimena García Santa Cruz y Arq. Mauro García Santa Cruz, Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable, FAU UNLP.

Bibliografía

Aghemo, C.; Filippi, E. (1996). *Condizioni ambientali per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico. Ricerca bibliográfica comparata*. Torino: Comitato Giorgio Rota.

- Avrami, E.; Dardes, K.; De la torre, M.; Harris, S.; Henry, M.; Jessup, W. contributors. (1999). Evaluación para la Conservación: Modelo Propuesto para evaluar las Necesidades de Control del Entorno Museístico. Los Angeles: Getty Conservation Institute. <http://www.getty.edu/conservation/>
- Barnet, H. L.; Hunter, B.B. (1987). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. MacMillan Publ. Co. New York.
- Baxter, A. (2006). Air O Cell Interpretation guide. Disponible en: <http://https://www.ehs.umass.edu/air-o-air-o-cell-method-interpretation-guide>. [Acceso: Enero 2011]
- García Santa Cruz, M; Gómez, A. (2014) Antecedentes y objetivos del Programa de Evaluación para la Conservación y Monitoreo Ambiental Edificio. Actas del Encuentro Museos en Edificios Patrimoniales. Buenos Aires: CICOP Argentina, ICOM Argentina, Museo Banco Provincia.
- Gómez, A. (2009). Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos. Seminario de Investigación en Museología de los países de habla portuguesa y española. Porto: Universidade do Porto, Faculdade de Letras, Biblioteca Digital. ISBN: 978-972-8932-61-9.
- Gómez, A.; García Santa Cruz, M.; Diulio, M. P. (2010). Desarrollo de Herramientas para la Evaluación del Entorno Ambiental en Museos y edificios afines. VI Jornadas Técnicas sobre Conservación, Exhibición y Extensión Educativa en Museos. Trelew, Argentina.
- Grant Smith, E. (1990). Sampling and identifying allergenic pollens and molds. Blewstone Press, San Antonio, Texas.
- Käärik, A.; Kelller, J., Kiffer, E., Perreau J.; Reisinger, O. En Nilsson, S. (1983). Atlas of airborne fungal spores in Europe. Springer-Verlag, Berlin.
- Lacey, M. E.; West, J.S. (2006). The Air Spore. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Norma UNI10586:1997. Documentazione: Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti. Milano: Ente Nazionale di Unificazione.
- Norma UNI10829:1999. Beni di interesse storico e artistico: Condizioni ambientali di conservazione Misurazione ed analisi. Milano: Ente Nazionale di Unificazione.
- Valentin, N. (2012). Análisis y control del biodeterioro. A las plagas le gustan las momias. En Momias. Manual de buenas prácticas para su preservación. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.(Eds).
- Viitanen, H.; Vinha, J.; Salminen K.; Ojanen, T.; Peuhkuri, R.; Paajanen, L.; Lähdesmäki, K. (2010). Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures. Journal of Building Physics. 33 (3) 201-224.

El monitoreo ambiental edilicio como estrategia de conservación preventiva. Estudio del caso del Museo de Arte Contemporáneo Beato Angélico

*Mauro Gabriel García Santa Cruz^{1 2}, María de la Paz Diulio^{1 2},
María Jimena García Santa Cruz¹, Analía Fernanda Gómez^{1 2}*

Resumen

El Museo de Arte Contemporáneo Beato Angélico se encuentra ubicado en La Plata y fue inaugurado en 1980. Se trata de un edificio reciclado en estilo posmoderno y alberga una importante colección de obras de artistas del siglo XX. Esta Ponencia se origina en el trabajo desarrollado en el marco del Convenio firmado entre la Universidad Nacional de La Plata y la Universidad Católica de la Plata. Se presentan los resultados parciales de la investigación que tiene por objetivo el Monitoreo Ambiental Edilicio del museo, que consiste en el registro y posterior análisis de las condiciones ambientales de las distintas salas de exposición a través de la medición continua de la temperatura y humedad relativa, y de mediciones puntuales de los niveles de iluminación y radiación UV. Se concluye determinando el comportamiento de las distintas salas de exposición, considerando sus características espaciales y su ubicación relativa dentro del mismo.

Palabras clave: museos, condiciones ambientales, monitoreo ambiental edilicio, conservación preventiva, patrimonio cultural.

Building environmental monitoring as preventive conservation strategy Case Study of the Beato Angelico Museum of Contemporary Art

Abstract

The *Beato Angelico* Museum of Contemporary Art is located in La Plata, Province of Buenos Aires, Argentina, and was inaugurated in 1980. It is a recycled building in postmodern style and contains an important collection of artists of the twentieth century. This paper derives from the work carried out under the agreement signed between the National University of La Plata and the Catholic University of La Plata. The aim of the research is to analyze the exhibition rooms through building environmental monitoring. Long term monitoring of temperature and relative humidity was performed, and measurements of lighting and UV radiation at significant single points. Partial results

¹ Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LayHS FAU UNLP)

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Calle 47 N°162 (B1900GGD) La Plata, Buenos Aires, Argentina. mgarciasc@gmail.com, layhs@fau.unlp.edu.ar

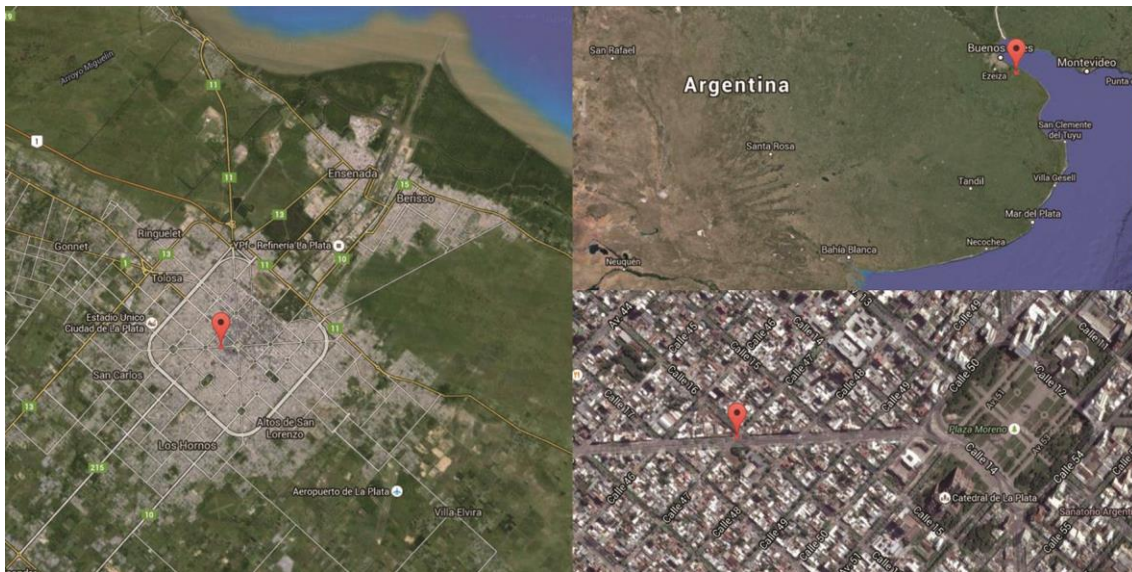
of the research are presented. We conclude determining the behavior of the various exhibition rooms, considering their spatial characteristics and their relative location into the museum.

Keywords: museum, microclimate control, preventive conservation, cultural heritage.

Introducción

El Museo de Arte Contemporáneo Beato Angélico se encuentra ubicado en el casco urbano de la Ciudad de La Plata, Argentina, fue inaugurado el 23 de Mayo de 1980 y pertenece a la Universidad Católica de La Plata. El edificio data del año 1902, originalmente pertenecía a “La Divina Providencia”, luego fue administrado por las hermanas Canossianas hasta mediados del siglo XX, en la última etapa fue entregado a la Universidad Católica. El reciclaje fue realizado por el Arq. Carlos Alberto Ruótolo y consistió en la adecuación del edificio para su nueva función como museo en estilo posmoderno. Teniendo en cuenta la gran altura de los espacios interiores, se construyó un entrepiso que balconea sobre la sala que se encuentra en el acceso al edificio, aumentando así el espacio de exposición, se conservó la fachada original aunque se cegaron algunas aberturas. El museo se compone de cuatro salas de exposición en planta baja (Sala Sassone, Pequeña Sala, Sala Soldi y Sala Centauro) y dos en planta alta (Sala del Crucifijo y Sala del Balcón).

Figura 1. Localización del Museo en el territorio. Ciudad de La Plata, Argentina.



Fuente: NASA, TerraMetrics. CNES / Astrium, CNEA / Spot Image, DigitalGlobe.

El museo cuenta con un acervo de más de 650 obras de los más importantes artistas contemporáneos. En su patrimonio se encuentran las esculturas monumentales donadas por Antonio Sassone, la colección de Iconos surgida de la Distinción Beato Angelico, la colección de esmaltes Champleve de Brígida Rubio, los murales de Eduardo Migo y la colección de pintura contemporánea. Una obra representativa es el Mural de Raúl Soldi, emplazado en la sala central que lleva su nombre, y realizado en colaboración con la ceramista María del Carmen Bruni. Para realizar esta obra fueron empleados los mismos cartones que Soldi había utilizado para el Fresco de la Basílica de la Anunciación en Nazareth, siendo ésta una obra única en el país. Luego de la inundación que sufrió la

ciudad en el mes de Abril de 2013 se debieron realizar tareas de consolidación del suelo y reconstrucción del piso, además se restauraron las obras que se encontraban en exposición y habían sido afectadas, el museo pudo ser reinaugurado tres meses después (Di Santo, 2014).

Figura 2. Vista del Acceso al Museo sobre calle 47 y del lateral del mismo sobre calle 16.



Fuente: Fotografías tomadas por M. P. Diulio.

Esta Ponencia se origina en el trabajo que están desarrollando investigadores del Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable en el marco del Convenio firmado entre la Universidad Nacional de La Plata y la Universidad Católica de la Plata. La investigación tiene como antecedente el Proyecto de Investigación y Desarrollo 11/U079 de la UNLP denominado “Evaluación de las necesidades de control del entorno para la conservación de los museos de la Red de Museos de la UNLP. Adecuación del procedimiento del Getty Conservation Institute (GCI)”. La investigación se enmarca también en los siguientes proyectos en ejecución con sede en el Laboratorio:

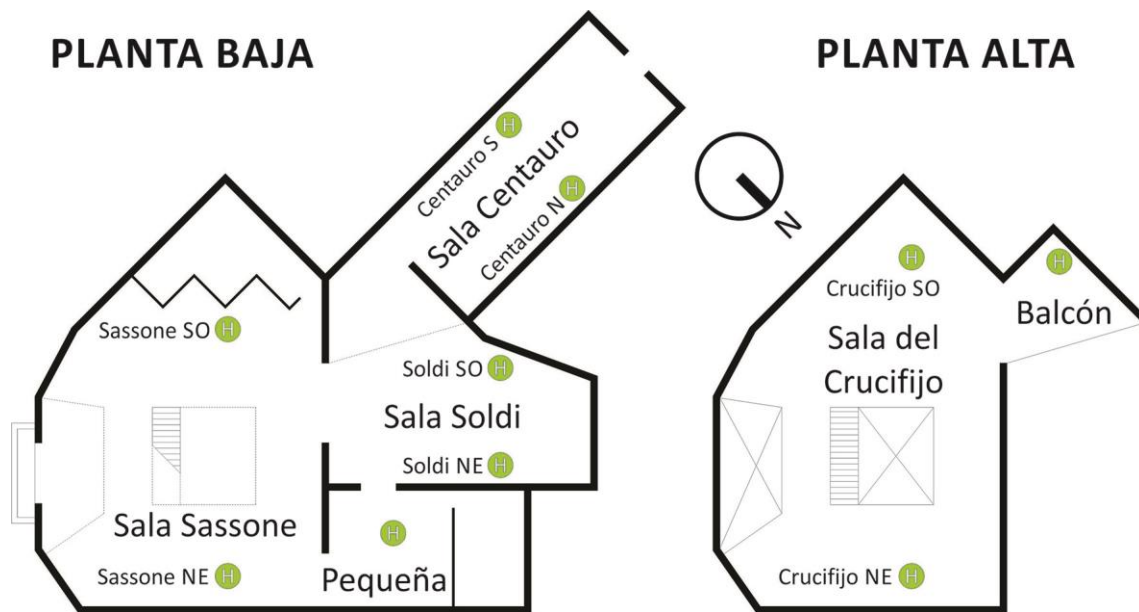
- “Plan de contingencia ambiental para bibliotecas, archivos y museos ante el cambio climático”, dirigido por la Arq. Analía Gómez, cuenta con financiamiento de la Universidad Nacional de La Plata.
- “Desarrollo de Protocolo para evaluación y certificación de sustentabilidad en edificios para la cultura”, desarrollado por el Arq. Mauro García Santa Cruz en el marco de una Beca Doctoral financiada por el CONICET.

Durante los años 2015 y 2016 también se desarrollan el Monitoreo Ambiental Edificio del Salón Blanco de la Honorable Cámara de Diputados de la Nación, de la Biblioteca y del Museo de la Facultad de Astronomía y Geofísica UNLP, del Museo de Instrumentos Musicales Dr. Emilio Azzarini y del Museo de Ciencias Naturales pertenecientes a la UNLP.

Objetivo

El objetivo de esta investigación es realizar el Monitoreo Ambiental Edificio del Museo durante un período de doce meses y su posterior diagnóstico edilicio. El monitoreo consiste en el registro y análisis de las condiciones ambientales de las distintas salas de exposición a través de la medición continua de la temperatura y humedad relativa durante el período, y de mediciones puntuales de los niveles de iluminación y radiación UV, por ser las variables que tienen mayor incidencia en la conservación de las piezas en museos. Se considera que para poder establecer una estrategia de control ambiental se deben evaluar los diversos factores que pueden afectar la conservación y cuidado de las colecciones, con el propósito de poder desarrollar las soluciones apropiadas.

Figura 3. Salas del museo y ubicación de los dataloggers (H).



Fuente: realizado por los autores sobre esquema entregado por el Museo Beato Angélico.

En esta ponencia se presentan los resultados de la campaña de medición de otoño, correspondiente a los meses de Abril, Mayo y Junio de 2015. Por tratarse de la primera campaña de medición se busca analizar el contexto en el cual se implanta el edificio, además de determinar el comportamiento de las distintas salas de exposición, considerando sus características espaciales y su ubicación relativa dentro del mismo.

Luego de la realización de las siguientes campañas de medición se tendrá información suficiente para realizar el análisis del comportamiento de las distintas salas a lo largo de un año, esto permitirá generar estrategias de control ambiental tendientes a la conservación preventiva de las obras de arte expuestas en el museo.

Figura 4. Sala Sassone, Planta Baja



Figura 5. Sala del Crucifijo, Planta Alta.



Figura 6. Sala Soldi, Planta Baja.



Figura 7. Sala Pequeña, Planta Baja.



Figura 8. Sala Centauro, Planta Baja.



Figura 9. Sala Balcón, Planta Alta.



Fuente: Fotografías tomadas por M. J. García Santa Cruz y M. G. García Santa Cruz.

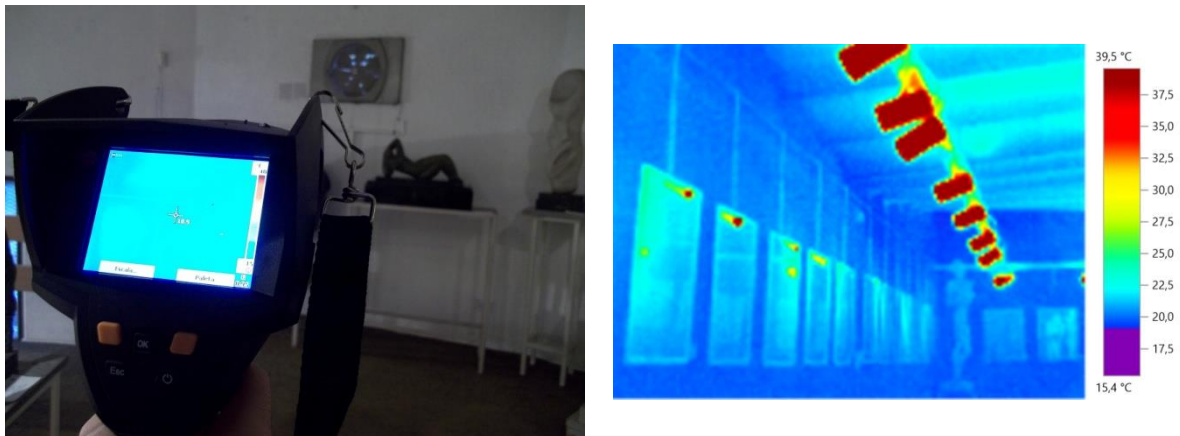
Metodología

Para la Evaluación del edificio se utiliza la metodología desarrollada por el Laboratorio en el Proyecto UNLP 11/U079 “Evaluación de las necesidades de control del entorno para la conservación de los museos de la Red de Museos de la UNLP. Adecuación del procedimiento del Getty Conservation Institute (GCI)”. En ese proyecto se adaptó a nuestra región la metodología publicada por el GCI en el documento Modelo propuesto para evaluar las necesidades de control del entorno museístico (Avrami et al., 1999). Esta evaluación busca describir la sensibilidad de las colecciones, el

comportamiento del edificio, los riesgos que representan el medio ambiente y el hombre (Gómez, García Santa Cruz, Diulio, 2010).

Para el Monitoreo Ambiental Edificio se utilizan los lineamientos propuestos en las Normas UNI10586:1997 Documentazione: Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti, y UNI10829:1999 Beni di interesse storico e artistico: Condizioni ambientali di conservazione Misurazione ed analisi. El relevamiento de la temperatura y la humedad relativa interior, y las mediciones de temperatura y humedad relativa exterior, se realizan con microadquisidores de datos (dataloggers). El Monitoreo se compone de cuatro campañas de medición, correspondientes a cada estación del año. Se obtienen registros de la temperatura y humedad relativa con una frecuencia de 10 minutos. Para el relevamiento de las temperaturas superficiales se utilizan un termómetro infrarrojo y una cámara termográfica (Figura 10). El relevamiento de la iluminación y de la cantidad de radiación ultravioleta se realiza con un Environmental Monitor ELSEC (García Santa Cruz, Gómez, 2014).

Figura 10. Cámara termográfica utilizada para el relevamiento de las temperaturas superficiales.



Fuente: Fotografías tomadas por los autores.

Figura 11. Environmental Monitor y datalogger utilizados durante el monitoreo ambiental edilicio.



Fuente: Fotografías tomadas por los autores.

Figura 12. Valores de referencia recomendados.

| Variable | Dibujo en papel | Pintura en tela | Unidad |
|------------------|-----------------|-----------------|--------|
| Temperatura | 19 - 24 | 19 - 24 | °C |
| Variación Temp. | 1,5 | 1,5 | °C |
| Humedad Relativa | 45 - 60 | 40 - 55 | % |
| Variación HR | 2 | 6 | % |
| Iluminancia | ≤ 50 | ≤ 150 | Lux |
| Contenido de UV | ≤ 75 | ≤ 75 | μW/Lm |

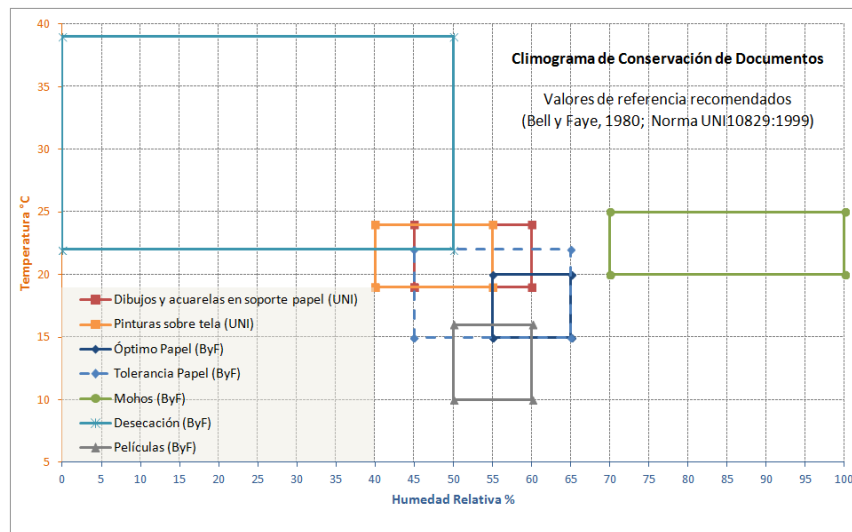
Fuente: Norma UNI10829:1999.

Considerando las características de las obras que alberga el Museo se determinan los valores de referencia recomendados para su conservación (Figura 12), correspondientes a las categorías “Dibujos, acuarelas, pasteles en soporte papel” y “Pintura en tela, pintura al óleo sobre tela, lienzo, témpera, aguada” (Norma UNI10829:1999).

Resultados

Se sintetiza la información recopilada mediante el monitoreo ambiental edilicio en distintos gráficos, que permiten una visualización clara de los parámetros medidos. Las Figuras 13, 14 y 15 corresponden a Climogramas de Conservación de Documentos (Bell y Faye, 1980; Gómez, 2005), cada punto en el gráfico corresponde al promedio diario de los valores de temperatura y humedad relativa registrados por cada uno de los dataloggers en el interior y en el exterior del museo. Sobre el eje vertical figura la escala de Temperatura [°C] y sobre el eje horizontal la Humedad Relativa [%]. El rectángulo de color rojo delimita los valores recomendados para “Dibujos, acuarelas, pasteles en soporte papel” y el rectángulo de color naranja delimita los valores recomendados para “Pintura en tela, pintura al óleo sobre tela, lienzo, témpera, aguada” (Norma UNI10829:1999).

Figura 13. Climograma de Conservación de Documentos. Valores de referencia recomendados.



Fuente: Gráfico realizado por los autores basado en (Bell y Faye, 1980; Gómez, 2005; Norma UNI10829:1999)

Figura 14. Climograma de Bell y Faye con Promedio Diario de T y HR en las Salas Perimetrales.

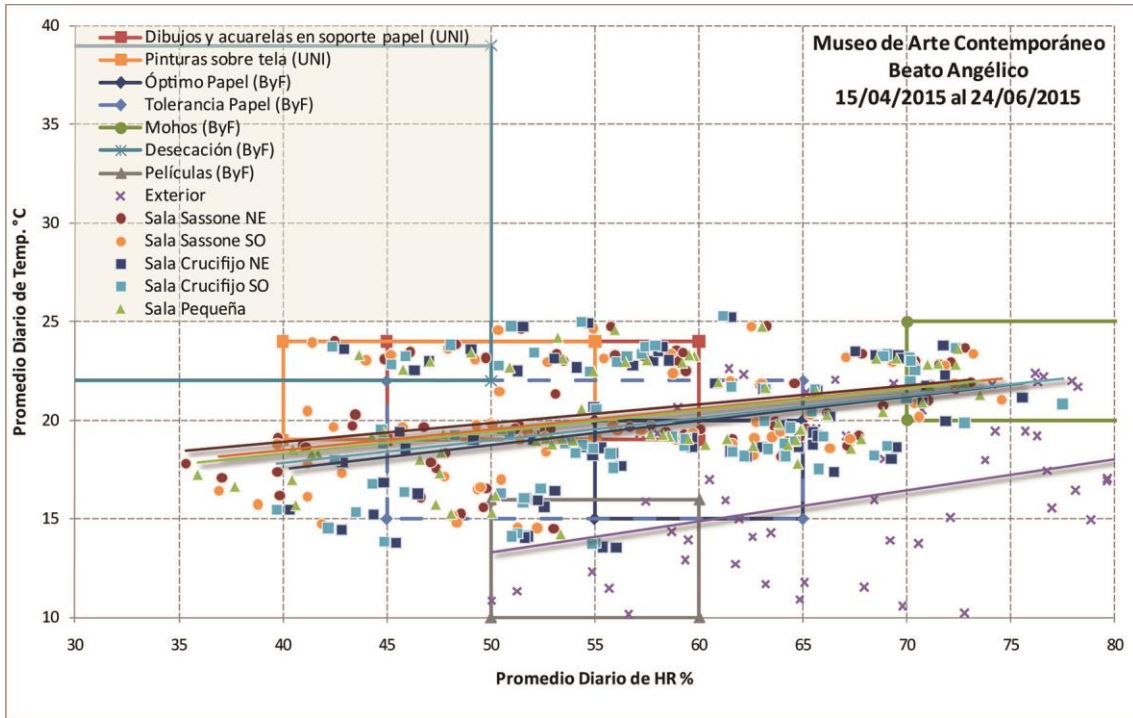
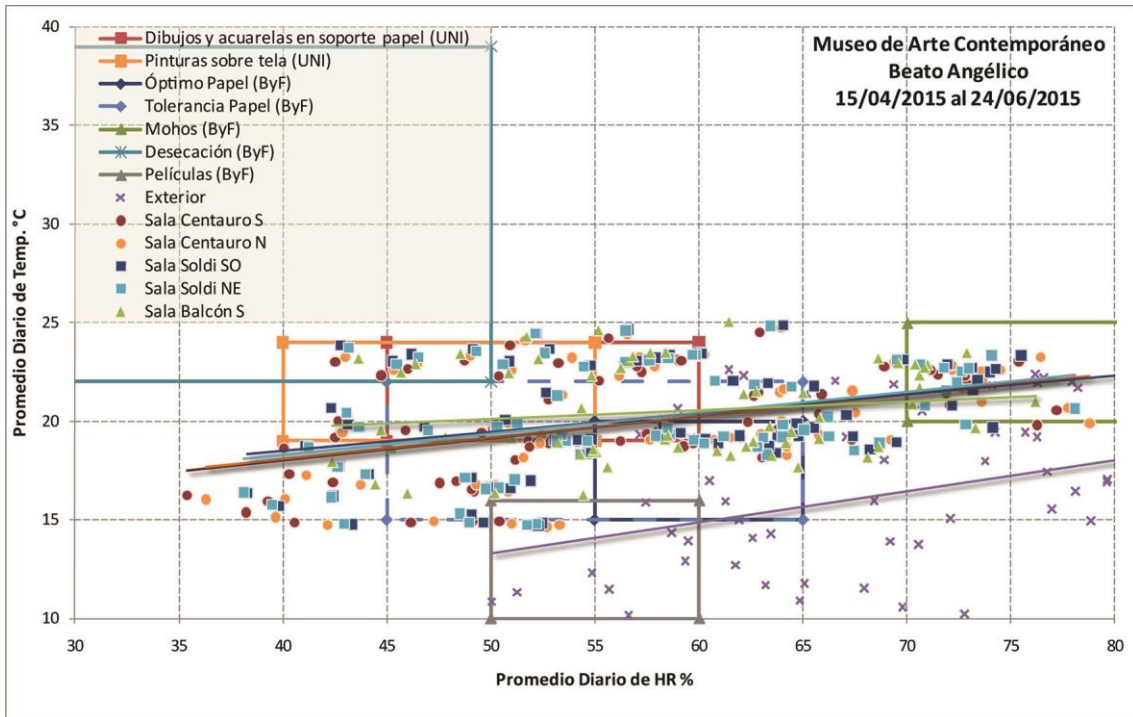


Figura 15. Climograma de Bell y Faye con Promedio Diario de T y HR en las Salas Centrales.



Fuente: Gráficos realizados por los autores.

Figura 16. Variación Diaria de T y HR en las Salas Perimetrales.

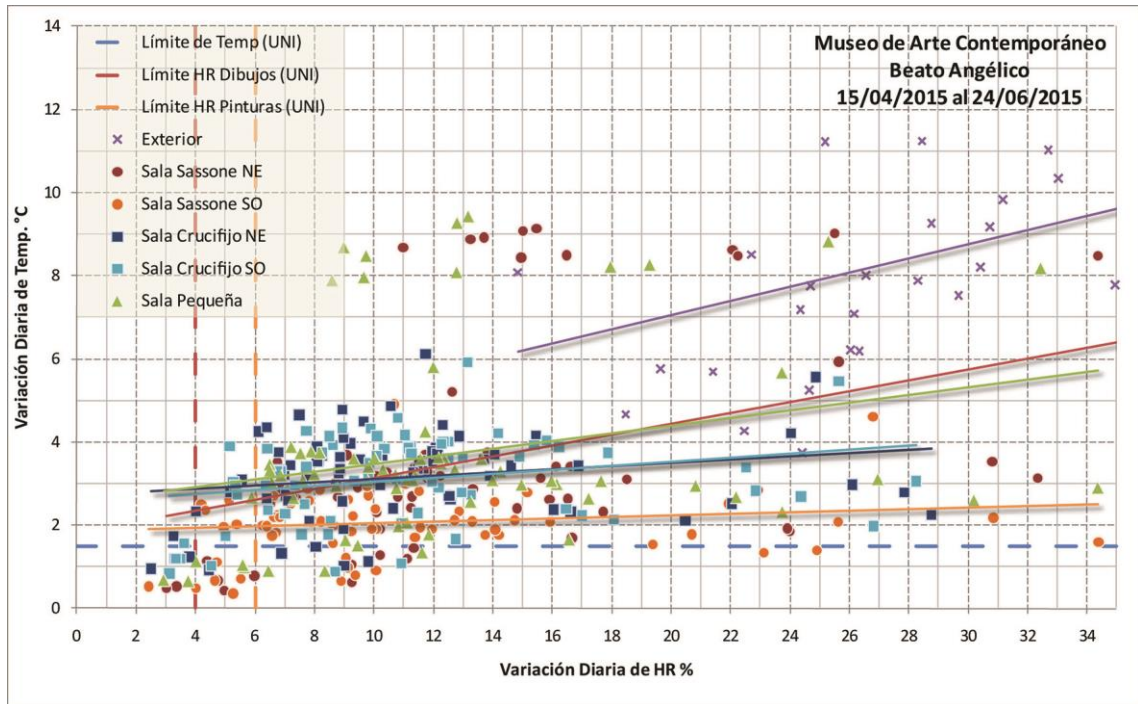
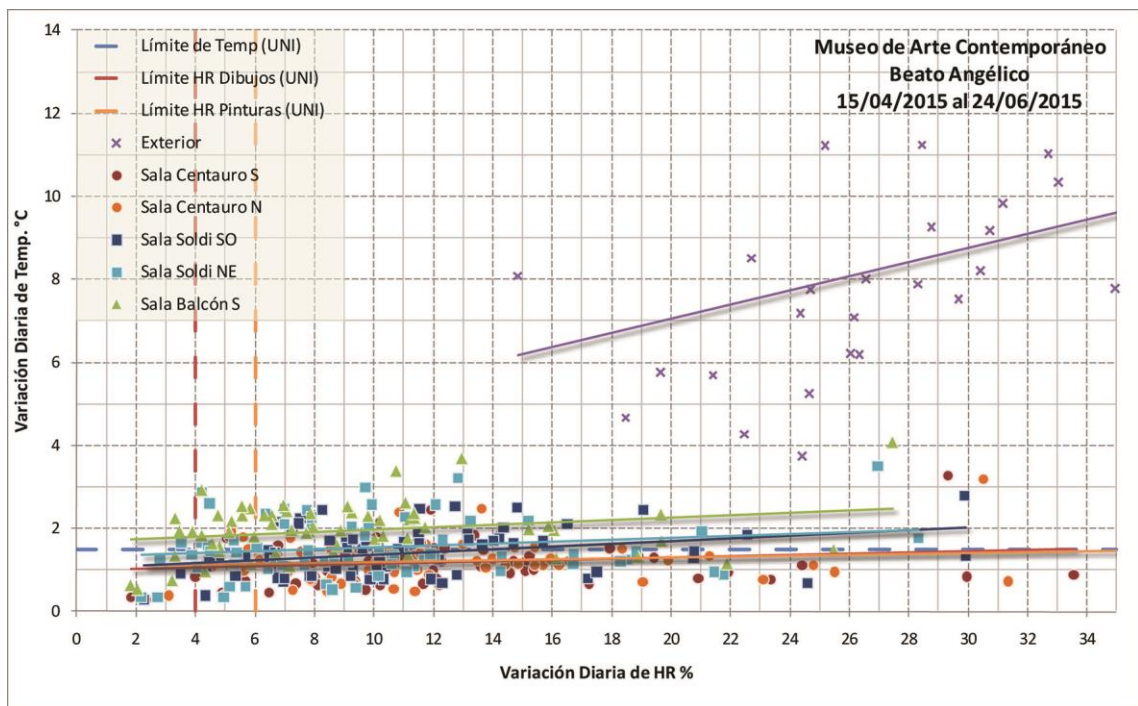


Figura 17. Variación Diaria de T y HR en las Salas Centrales.



Fuente: Gráfico realizado por los autores.

Las Figuras 16 y 17 muestran la variación diaria de los valores de temperatura y humedad relativa registrados por los dataloggers en el interior y en el exterior del museo. Sobre el eje vertical figura la escala de Temperatura [°C] y sobre el eje horizontal la Humedad Relativa [%]. La línea vertical de color roja marca el límite de la variación diaria de Humedad Relativa recomendado para “Dibujos, acuarelas, pasteles en soporte papel”, la línea vertical de color naranja marca el límite de la variación diaria de Humedad Relativa recomendado para “Pintura en tela, pintura al óleo sobre tela, lienzo, ténpera, aguada”, la línea horizontal de color celeste marca el límite de la variación diaria de Temperatura para ambos conjuntos de materiales (Norma UNI10829:1999).

Figura 18. Valores del período medido.
Porcentaje de cumplimiento de los valores de referencia recomendados.

| CAMPAÑA OTOÑO | TEMPERATURA °C | | | | | HUMEDAD RELATIVA % | | | | | AMBAS |
|------------------|----------------|-------|-------|-------|--------|--------------------|-------|-------|-------|--------|------------------|
| | PROM | MAX | MIN | Δ T | Cumple | PROM | MAX | MIN | Δ HR | Cumple | Cumple T y HR |
| Sassone NE | 20,45 | 26,97 | 13,89 | 13,09 | 56% | 56,06 | 84,84 | 24,58 | 60,26 | 54% | 28% |
| Sassone SO | 20,16 | 26,16 | 13,77 | 12,40 | 58% | 55,76 | 85,56 | 30,16 | 55,40 | 57% | 31% |
| Crucifijo NE | 19,73 | 27,14 | 12,39 | 14,75 | 46% | 57,83 | 84,84 | 33,84 | 51,00 | 57% | 28% |
| Crucifijo SO | 19,81 | 27,27 | 12,54 | 14,73 | 46% | 57,38 | 86,06 | 34,02 | 52,05 | 56% | 28% |
| Pequeña | 20,14 | 26,43 | 13,36 | 13,08 | 53% | 56,61 | 83,94 | 28,00 | 55,94 | 53% | 28% |
| Centauro S | 19,87 | 24,83 | 14,29 | 10,54 | 61% | 56,34 | 88,93 | 29,39 | 59,54 | 53% | 28% |
| Centauro N | 19,99 | 25,09 | 14,27 | 10,83 | 62% | 57,40 | 91,41 | 29,55 | 61,86 | 52% | 28% |
| Soldi SO | 20,16 | 25,60 | 14,22 | 11,38 | 62% | 57,49 | 90,84 | 33,13 | 57,71 | 53% | 28% |
| Soldi NE | 20,11 | 25,75 | 14,13 | 11,62 | 60% | 57,03 | 87,28 | 33,94 | 53,34 | 54% | 28% |
| Balcón S | 20,56 | 25,92 | 15,27 | 10,65 | 50% | 58,91 | 87,72 | 36,02 | 51,70 | 44% | 28% |

Fuente: Tabla realizada por los autores.

La Figura 18 sintetiza los valores de temperatura y humedad relativa medidos por los distintos dataloggers. Se verifica que las condiciones de temperatura en las salas centrales son levemente mejores que las existentes en las salas perimetrales, siendo que los registros medidos en ellas cumplen en un 59% con los valores recomendados, frente a los registros medidos en las salas perimetrales que cumplen con los valores recomendados en un 51,8%, ambos en promedio. La humedad relativa medida en las salas centrales cumple en un 51,2% con los valores recomendados, frente a los valores medidos en las salas perimetrales que cumplen en un 55,4%, ambos en promedio. Si bien es posible analizar la temperatura y la humedad relativa de forma independiente, en la realidad existe una estrecha correlación entre ambos parámetros. Por lo tanto el análisis simultáneo de ambas indica que solo se cumplen los valores recomendados de conservación en un 28% de los registros.

Conclusiones

Luego de analizar la información registrada en las distintas salas se advierte un comportamiento diferenciado entre aquellas que se encuentran próximas al acceso del edificio y en el perímetro del mismo frente a las que se ubican en una posición central. El indicador más evidente de esta situación es la amplitud diaria de Temperatura y Humedad Relativa, siendo ésta mayor en las sala de acceso y perimetrales. Esto se debe principalmente a la baja estanqueidad de las aberturas de ingreso al

museo que aumentan las renovaciones de aire y a la transferencia térmica que se produce a través de la envolvente del edificio. El reconocimiento de estas variaciones en cada sala permitiría al Museo tener una herramienta para la disposición de las colecciones según las variaciones admisibles de cada material.

Se observa que las condiciones de temperatura en las salas centrales son más adecuadas a las observadas en las salas perimetrales, sin embargo solo se cumplen los valores de conservación recomendados en un 28% de los registros durante el período medido.

Luego de la realización de las siguientes campañas de medición se tendrá información suficiente para realizar el análisis del comportamiento de las distintas salas a lo largo de un año, esto permitirá generar estrategias de control ambiental tendientes a la conservación preventiva de las obras de arte expuestas en el museo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero concedido por la Universidad Nacional de la Plata (UNLP) y por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) a los proyectos de investigación en el marco de los cuales es posible realizar este trabajo. También al Presidente de la Universidad Nacional de La Plata, al Rector de la Universidad Católica de la Plata, al Decano de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNLP y al Decano de la Facultad de Arquitectura y Diseño UCALP por haber confiado en la realización de este trabajo a través del Convenio firmado entre ambas casas de altos estudios. Asimismo agradecen a las autoridades y al personal del Museo de Arte Contemporáneo Beato Angelico por la gestión realizada y por la colaboración incondicional en la realización de los trabajos de campo.

Bibliografía

- Aghemo, C.; Filippi, E. (1996). *Condizioni ambientali per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico. Ricerca bibliográfica comparata*. Torino: Comitato Giorgio Rota.
- Avrami, E.; Dardes, K.; De la torre, M.; Harris, S.; Henry, M.; Jessup, W. contributors. (1999). *Evaluación para la Conservación: Modelo Propuesto para evaluar las Necesidades de Control del Entorno Museístico*. Los Angeles: Getty Conservation Institute. <http://www.getty.edu/conservation/>
- Bell, L; Faye, B. (1980). *La concepción de los edificios de archivos en países tropicales*. UNESCO.
- Di Santo, Walter (2014) *El Museo de Arte Contemporáneo Beato Angélico de la Universidad Católica de La Plata*. Actas del Encuentro Museos en Edificios Patrimoniales. Buenos Aires: CICOP Argentina, ICOM Argentina, Museo Banco Provincia.
- García Santa Cruz, Mauro; Gómez, Analía. (2014) *Antecedentes y objetivos del Programa de Evaluación para la Conservación y Monitoreo Ambiental Edificio*. Actas del Encuentro Museos en Edificios Patrimoniales. Buenos Aires: CICOP Argentina, ICOM Argentina, Museo Banco Provincia.
- Gómez, Analía et al. (2005). *Museo del Holocausto (Shoa) Fundación Memoria del Holocausto de la Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Mediciones higrotérmicas en la Reserva*. ENCAC – ELACAC 2005.

Gómez, Analía; García Santa Cruz, Mauro. (2007). Implementación de pautas para el control del entorno ambiental en la red de museos de la Universidad Nacional de La Plata. V Jornadas Técnicas sobre Conservación, Exhibición y Educación en Museos. Río Cuarto, Argentina.

Gómez, Analía; García Santa Cruz, Mauro; Diulio, María de la Paz. (2010). Desarrollo de Herramientas para la Evaluación del Entorno Ambiental en Museos y edificios afines. VI Jornadas Técnicas sobre Conservación, Exhibición y Extensión Educativa en Museos. Trelew, Argentina.

Norma UNI10586:1997. Documentazione: Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti. Milano: Ente Nazionale di Unificazione.

Norma UNI10829:1999. Beni di interesse storico e artistico: Condizioni ambientali di conservazione Mizurazione ed analisi. Milano: Ente Nazionale di Unificazione.

Autores

Mauro Gabriel García Santa Cruz es Arquitecto, alumno del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo FAU UNLP, Becario Doctoral CONICET y Secretario Técnico LAYHS FAU UNLP. mggarciasc@gmail.com

María de la Paz Diulio es Arquitecta, alumna del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo FAU UNLP, Becaria Doctoral CONICET y docente FAU UNLP. diuliomp@gmail.com

María Jimena García Santa Cruz es Comunicadora Audiovisual FBA UNLP, Licenciada en Diseño de Interiores FDyC UdE, Diplomada en Gestión Cultural FAD UCALP. mariajimenagsc@gmail.com

Analía Fernanda Gómez es Arquitecta, Investigadora Adjunta CONICET, Profesora Titular FAU UNLP, Profesora Titular FA UMSA y Prosecretaria de Investigación FAU UNLP. anygomez@gmail.com

09. Evaluación y certificación de sustentabilidad

Evaluación de la climatización en locales comerciales, integrando técnicas de termografía, simulación y modelado por Elementos Finitos. Caso Tienda Caracol

José Alejandro Madrigal Monzón¹, Augusto Sanchez Cifuentes¹, Mario Jesús Espín Pérez², Juan José Cabello Eras³

Resumen

En el trabajo se integran técnicas utilizadas para analizar problemas asociados a la climatización que por sí solas no son capaces de evaluar todo un sistema de acondicionamiento de aire. Se utiliza la termografía para obtener el perfil de temperatura en el área de incidencia del aire climatizado y los focos calientes en el interior del local. Mediante la simulación con el software Trnsys se obtiene el comportamiento de la temperatura interior y se estima el perfil de carga térmica. Con el diseño asistido por computador se crea un modelo espacial de la zona térmica y con el Método de los Elementos Finitos (MEF) se modela la circulación del aire y la distribución de la temperatura en el espacio. Finalmente se propone un nuevo esquema para el sistema de frío a partir de los resultados obtenidos con las herramientas anteriores.

Palabras clave: Termografía; sistema de climatización; carga térmica.

¹Facultad de Ingeniería. Departamento Proceso y Uso Eficiente de Energía. Universidad Nacional autónoma de México(UNAM).México. e-mail: jamadrigal1988@gmail.com

²COMINSA. México.e-mail:mjeperez@gmail.com

³ Centro Estudios Energía y Medio Ambiente.(CEEMA).Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.Cuba.e-mail.jjcabe2013@gmail.com

Evaluation of air conditioning in commercial buildings, integrating thermography techniques, simulation and modeling Finite Element. Case Snail Shop

Abstract

At work are integrated techniques used to analyze problems associated with the climate which alone are unable to assess an entire air conditioning system. Thermography is used to obtain the temperature profile in the area of incidence of conditioned air and the hot spots inside the premises. By simulating the behavior of software Trnsys indoor temperature is obtained and the thermal load profile is estimated. With computer aided design a spatial model of the thermal zone is created and the finite element method (FEM) air flow and temperature distribution in space is modeled. Finally a new scheme for the cooling system is proposed based on the results obtained with previous tools.

Keywords: thermography; air-conditioning system; thermal load.

Introducción

Los locales comerciales son los encargados de proveer a través de su actividad económica las necesidades de productos y servicios básicos de la población. Para alcanzar el bienestar térmico y la satisfacción de los clientes así como la conservación de los productos comerciales es necesario acondicionar el ambiente en el interior del local comercial.

En Cuba la temperatura media anual es de 25 °C y en verano los extremos de calor promedian los 27.5 °C con una humedad relativa del 80%. Las características mencionadas hacen de Cuba un país tropical donde el enfriamiento con deshumidificación como proceso para acondicionar el aire en el interior de locales se presenta como una necesidad siempre que se quiera cumplir con el criterio de confort térmico.

Los estándares presentados por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) describen el confort térmico cualitativamente como la condición mental que expresa satisfacción con la temperatura en el alrededor (ASHRAE, 1997). Establecer un valor de confort óptimo para locales comerciales se presenta complejo por cuanto este valor se puede desplazar según sea el microclima del lugar, usos y costumbres, estilo de vida, edad o constitución física de las personas. Asumir el valor recomendado según los estándares internacionales aunque se presenta como una vía fácil de aplicar no se considera recomendable para generalizar ya que estos responden a criterios de regiones acostumbradas al uso de medios de climatización artificial y generalmente países desarrollados (Ramos, 2012). Para el caso de nuestro estudio se utilizará 24 °C como valor límite de confort.

En Cuba abundan los locales comerciales de pequeña dimensión donde se utilizan fundamentalmente los minisplits para acondicionar el aire en el interior. Durante la etapa de diseño del sistema de climatización se tienen en cuenta las características constructivas del local, el servicio que se va a prestar, la ocupación, la ubicación geográfica y otras importantes consideraciones (ASHRAE, 1989),(ASHRAE, 1997), sin embargo, para este tipo de tiendas con pequeñas dimensiones el criterio económico es el factor determinante en la selección del sistema de climatización. En Cuba, las empresas encargadas de la instalación de los sistemas de climatización solo determinan la carga

térmica puntual en un día cualquiera del año y seleccionan un esquema de clima que supere dicho valor desatendiendo así la variabilidad que tiene el clima en las diferentes épocas del año.

En cualquier aplicación los sistemas de acondicionamiento de aire representan un alto costo dentro de la estructura de gastos (Rodríguez, 2009) (Leyat Fernández Velazquez, 2014) (Osmel Cabrera Gorrín, 2004), por lo cual se requiere de técnicas que permitan evaluar cuantitativamente y cualitativamente los sistemas que están en funcionamiento. Cualquier mejora en el sistema de climatización puede ser traducida en ahorros monetarios a la a la empresa y en mejoras de confort para los usuarios.

Se presenta como **objetivo principal** de nuestra investigación el uso integrado de la simulación de cargas térmicas mediante el software Trnsys, la termografía como técnica para ver la incidencia del aire frío y los puntos calientes y el método de los elementos finitos para evaluar la distribución volumétrica del aire frío en el interior del local y la circulación del mismo. Mediante los resultados arrojados por cada una se pretende demostrar las dificultades existentes en un sistema de climatización, así como una propuesta de mejora.

Metodología.

La simulación de cargas térmicas mediante el uso del software Trnsys es uno de los recursos disponibles más expandidos para la determinación de cargas térmicas tal como usan (F. Oldewurtel, Jun. 2010) (S.Privara, 2013) (Vehelts, 2012) (Boris. G Vega Lara, 2015) en sus estudios. El objetivo fundamental de la simulación térmica en una instalación es obtener un modelo dinámico de algunas variables del sistema (carga térmica, temperatura interior, humedad relativa, coeficientes de transferencia de calor, entre otras). Según experiencia de otros autores (Boris. G Vega Lara, 2015) que utilizan esta herramienta para la simulación en edificaciones, los procesos de transferencia de calor pueden ser analizados como problemas transitorios, o sea, fenómenos que cambian constantemente en el tiempo independientemente de su mecanismo y su magnitud.

Con la simulación a través del software Trnsys podemos obtener un perfil de temperatura variable en el tiempo, sin embargo es imposible obtener un perfil de distribución volumétrica de la temperatura operativa en el interior y las zonas muertas donde se puede ver afectado el confort térmico de las personas

La inspección térmica de una instalación basada en el uso de la termografía ofrece la posibilidad de realizar un análisis no invasivo donde se pueden obtener variables determinantes en la carga térmica del local como: focos calientes puntuales, distribución de temperaturas superficiales, infiltraciones de calor e incidencia de las venas de aire frío proveniente del sistema de acondicionamiento del aire.

La cámara utilizada fue la Testo 875, en la tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas de la misma.

Tabla 1 Datos técnicos de la cámara infrarroja Testo 875

| Propiedad | Valores |
|----------------------|-----------------------------|
| Sensibilidad térmica | <80 mK a 30°C |
| Tipo de detector | FPA 160 x 120 píxeles, a-Si |

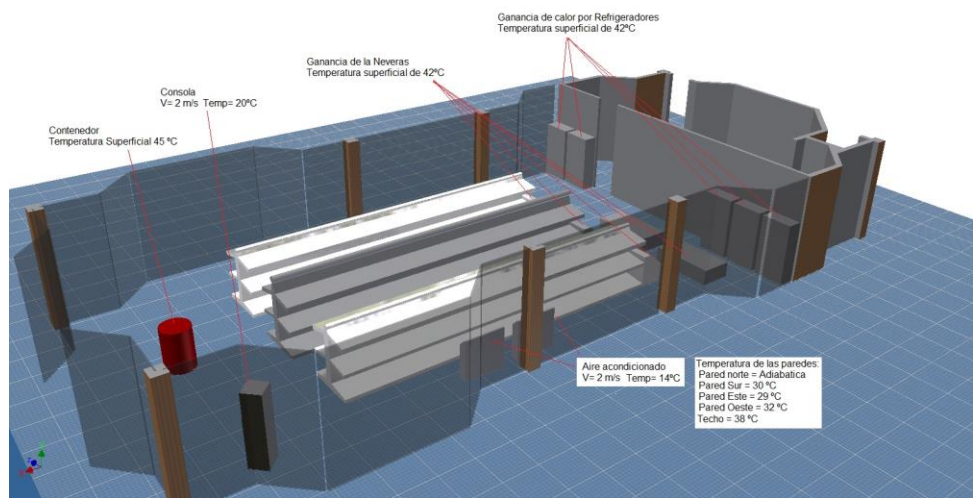
| | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Rango temperatura | De -20 a 100 °C/de 0 a 280 °C |
| exactitud | ±2 °C |
| Ajuste del grado de emisividad | De 0,01 a 1,00 |

A pesar de las potencialidades ofrecidas por la cámara, la termografía por sí sola no es una herramienta que permita caracterizar un sistema de climatización, por lo que es necesario el uso de otras herramientas que analicen la información recogida en las imágenes térmicas.

A través del diseño asistido por ordenador (CAD por sus siglas en inglés) se crea un modelo tridimensional de la zona térmica (figura 1), que representa el esquema de análisis al cual se introducen parámetros del sistema de clima obtenidos con las herramientas anteriores y valores reales de velocidad y temperatura obtenidos a través de mediciones efectuadas in situ.

El MEF es la herramienta usada para solucionar los problemas asociados a la mecánica de los fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés), siendo capaz de ofrecer un perfil de temperatura en función del espacio y del tiempo, o sea, realizar análisis en régimen estacionario y transitorio.

Figura 1. Modelo tridimensional del mercado.



Fuente: Figura realizada por el autor

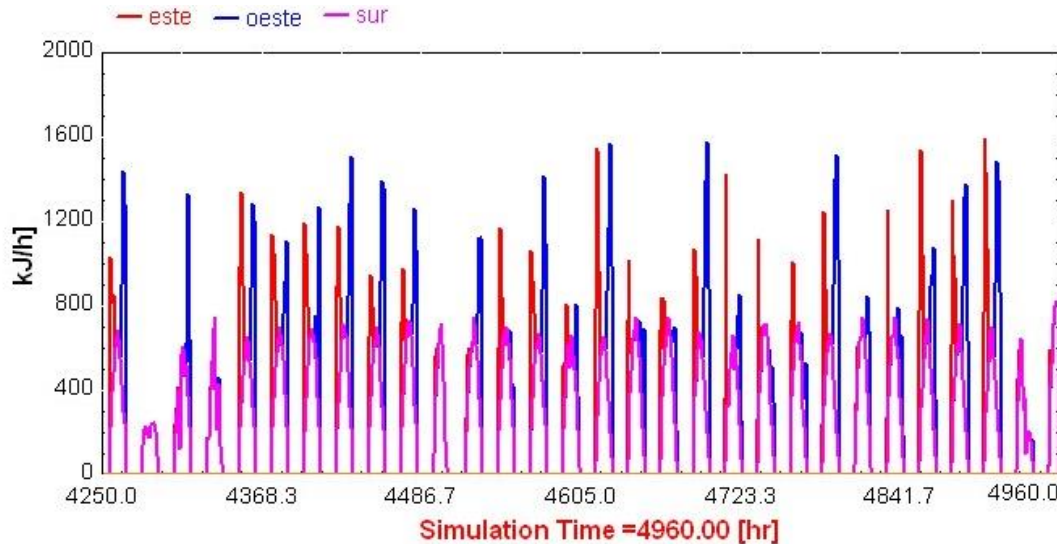
El centro comercial de estudio se encuentra ubicado en la provincia de Cienfuegos, Cuba. Este presenta como rasgo distintivo la gran área acristalada que posee, llegando a representar la misma alrededor del 90% de su superficie lateral total. Como consecuencia de la arquitectura del local es necesario un uso intensivo de la climatización y por tal un consumo elevado de energía eléctrica para satisfacer este servicio que llega a alcanzar hasta el 62% del consumo total de la entidad.

El mercado está ubicado hacia el norte cardinal, con la puerta de acceso hacia el sur. Las paredes este y oeste son las de mayor área y el cristal en las mismas representa el 94 % del área total. El recinto cuenta con un volumen de 550 m³ y un régimen de trabajo diario de 10 horas.

Para la modelación se tomaron 10 renovaciones del aire por hora según las recomendaciones de la ASHRAE y un cristal doble transparente con un espesor de 8mm. La humedad relativa promedio de la

zona donde se encuentra enclavada el centro comercial es de 82% como promedio anual, la temperatura es 32°C en verano y 27 °C en invierno como promedio. En la figura 2 se muestra la distribución de la radiación solar por las diferentes paredes del local comercial en el mes de Junio, siendo la pared oeste la que más radiación recibe. Los valores de temperatura, radiación y humedad utilizados para la simulación fueron los que ofrece el software Trnsys en la Ciudad de la Habana ya que no se contaba con los datos de la provincia analizada.

Figura 2. Distribución radiación solar por las paredes del local.



Fuente: Figura obtenida por el autor con el software Trnsys

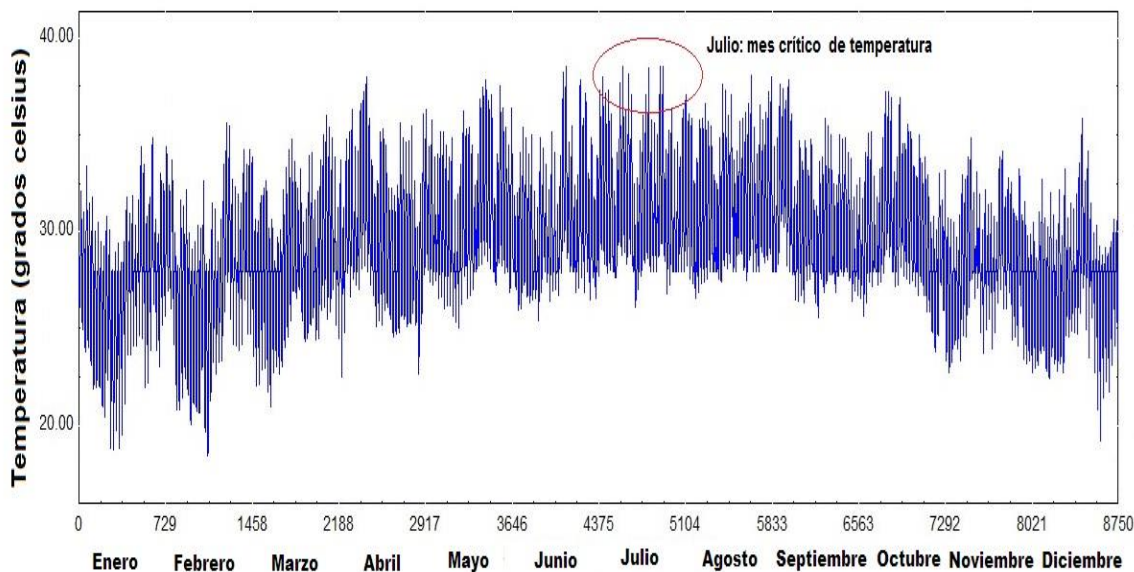
Resultados

El local cuenta con una capacidad instalada de 15 52.7kW de refrigeración suministradas por tres minisplits de 5 toneladas de refrigeración cada uno. Al realizar una revisión en la velocidad y temperatura del aire a la salida de los equipos se observó que uno de los tres equipos presentaba problemas con la temperatura de salida y sólo funcionaba como ventilador. Tal situación provocaba que la potencia de frío real instalada fuera de 35 kW.

Para obtener un modelo dinámico del comportamiento de la temperatura en el interior del local se utilizó el software TRNSYS, el mismo utiliza variables determinantes en el comportamiento de los sistemas de climatización: esquema constructivo del local, nivel de infiltraciones, ganancias de calor, materiales de las paredes y ventanas, ventilación y variables meteorológicas de la provincia en un año típico.

Al realizar una simulación inicial, podemos ver el principal problema de la tienda: las temperaturas en el interior del local son muy elevadas. En el mes de julio se reportan la mayor cantidad de días por encima de 33 °C (figura 3).

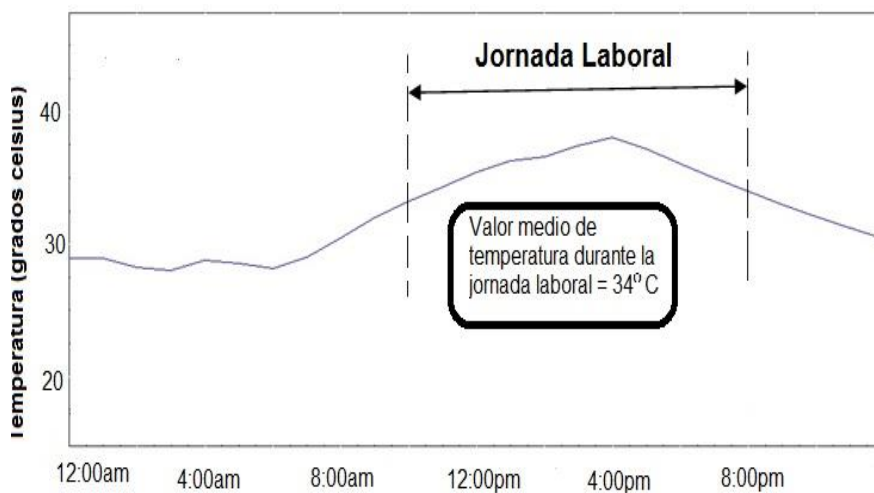
Figura 3. Comportamiento anual de la temperatura en el interior del local.



Fuente: Figura obtenida por el autor con el software Trnsys

En la figura 4 se muestra el comportamiento de la temperatura en el interior del local durante 24 horas el 23 de Junio, en la misma se observa el proceso de acumulación de calor que se produce hasta alcanzar un valor tope de 36 °C y un promedio en la jornada laboral de 34 °C.

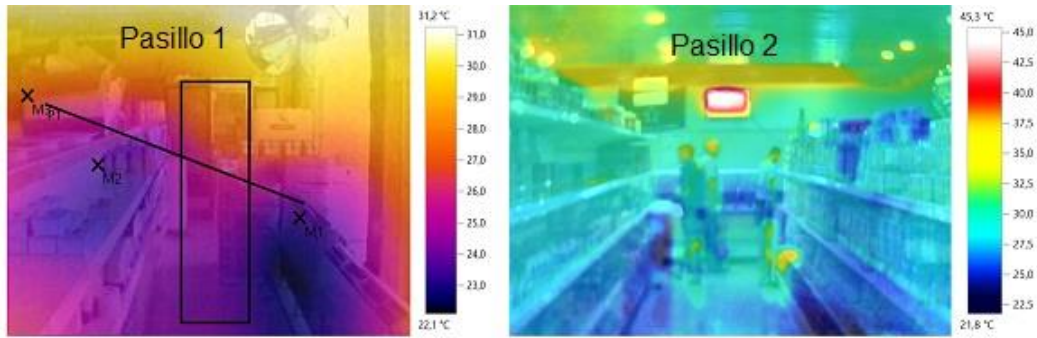
Figura 4. Comportamiento de la temperatura en el interior del local el día crítico.



Fuente: Figura obtenida por el autor con el software Trnsys

Durante el estudio termográfico realizado se evidenció la no existencia de homogeneidad en la distribución del aire climatizado, lo cual se puede observar con las notables diferencias en la distribución superficial de temperatura. En la figura 5 se puede observar como en el pasillo 1 los minisplits impulsan directamente el aire frío hacia el estante, provocando como resultado una obstaculización del fluido e impidiendo la correcta circulación en el interior del local. En el pasillo 2 se observa claramente la zona de circulación y el área de incidencia del aire.

Figura 5. Imagen termográfica en los pasillos interiores del local.



Fuente: Imágenes obtenida por el autor con la cámara termográfica.

Con el uso de la técnica termográfica se determinaron los puntos calientes y las infiltraciones presentes en el local. En la figura 6 se puede observar el calor que se infiltra por el acceso principal, en el techo y la fuente de calor que representa cada uno de los compresores de las máquinas de refrigeración.

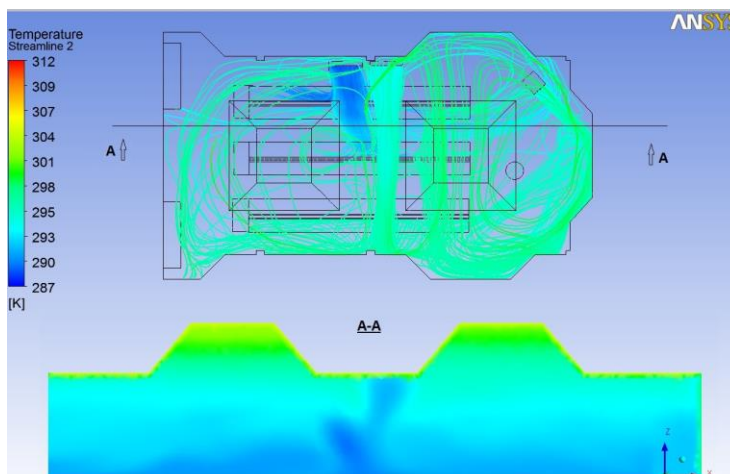
Figura 6. Infiltraciones y focos calientes.



Fuente: Imágenes obtenidas por el autor con la cámara termográfica.

Para el caso de estudio nos basamos en un análisis estacionario debido a que el interés era observar la circulación de las venas de aire frío en el interior del local y la influencia de las distintas ubicaciones de las unidades terminales de impulsión. Una vez construido el modelo (figura1) y utilizando como fronteras las paredes exteriores del local donde no existen grandes sombras, se utilizaron variables obtenidas con las herramientas anteriores: temperatura de salida del aire frío, velocidad del fluido y fuentes internas de calor y se simuló la circulación del aire y la temperatura volumétrica del local como se muestra en la figura 7.

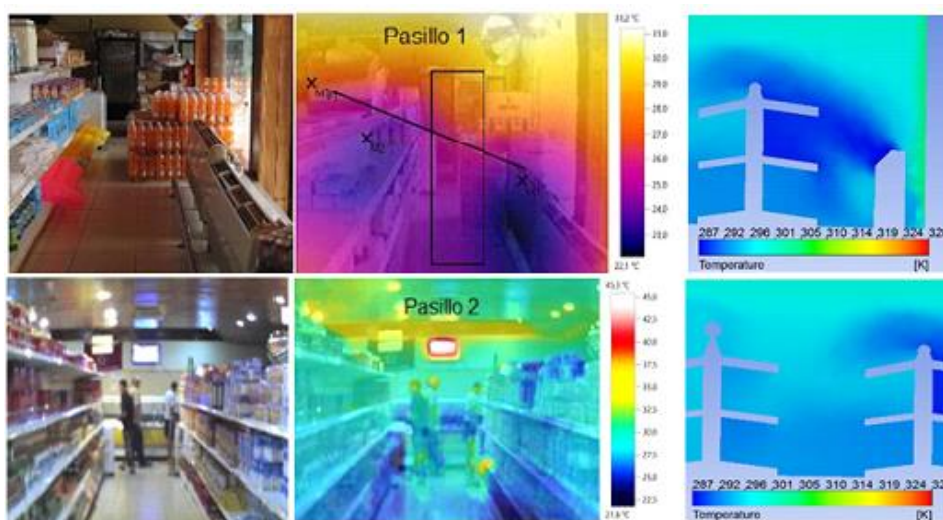
Figura 7. Resultados de la simulación con el MEF.



Fuente: Imágenes obtenidas por el autor con el software Ansys.

Como se aprecia en la imagen anterior la circulación del aire no es adecuada puesto que los estantes obstaculizan el movimiento de las venas de aire frío y no permiten que estas se adentren lo suficiente en el local como para mezclarse con el aire caliente. Tal situación provoca que la distribución de temperatura en el pasillo 2 no se comporte de manera homogénea, con zonas donde la temperatura está alrededor de los 22 °C y otras donde los valores de temperatura están alrededor de los 30°C .En la figura 8 se muestra una comparación de los resultados obtenidos con la termografía y la modelación de la distribución de temperatura con el método de los elementos finitos. Las imágenes de los pasillos 1 y 2 en la tienda muestran la correspondencia existente entre ambas herramientas.

Figura 8. Imágenes real, termográfica y con el método de los elementos finitos de los pasillos 1 y 2.



Fuente: Imágenes obtenidas por el autor.

Al validar la no existencia de condiciones térmicas de confort en el interior del local debido a la incorrecta ubicación de las UTIs y una probable insuficiente carga de refrigeración instalada, se

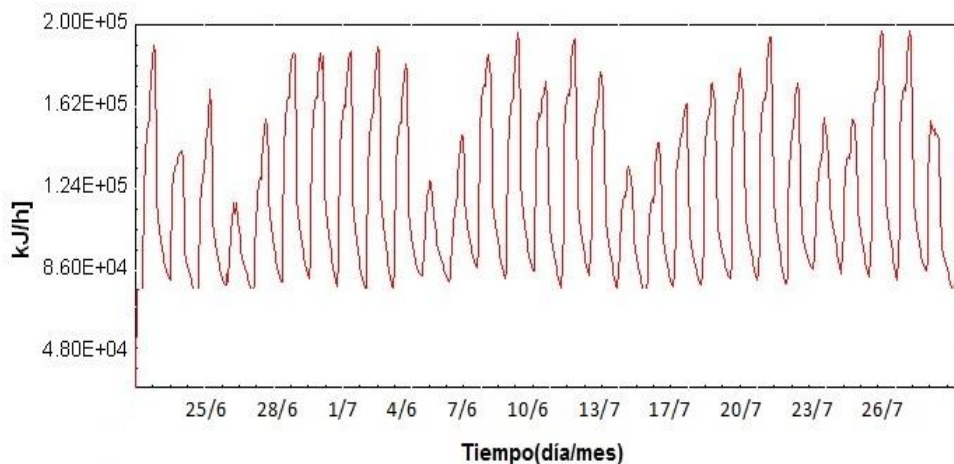
determina la potencia de climatización necesaria para satisfacer las necesidades de frío y se propone un nuevo esquema para el sistema de distribución del aire climatizado.

Para determinar la potencia de frío a instalar mediante Trnsys, se fijó un valor esperado de 24 °C en el interior del local y se simuló el comportamiento de la carga térmica durante la etapa comprendida entre los últimos días de junio y el mes de julio, pues durante este tiempo se habían reportado anteriormente la mayor cantidad y mayores valores de temperatura. Un sistema de climatización que supere la demanda térmica para el período anterior garantiza valores de temperatura dentro del rango de confort, aunque introduce un cierto grado de sobredimensionamiento durante los meses de invierno.

Algunas de las variables más importantes en nuestro modelo que se tuvieron en cuenta para la simulación con el software Trnsys fueron: presencia de 20 personas en el interior del local realizando la actividad comercial, existencia de 10 fuentes de calor internas con régimen de trabajo continuo (correspondientes a los compresores de las máquinas de refrigeración) y la ubicación de una cortina de viento en el acceso principal de manera tal que se disminuyera el valor de las infiltraciones de calor.

Para obtener 24 °C en el interior del local según los resultados del software Trnsys y con las condiciones descritas anteriormente se necesita vencer una carga térmica máxima de 197 000 kJ/h (figura 9), lo cual equivale a un sistema de clima con una potencia instalada de 16 toneladas de refrigeración (56.2kW).

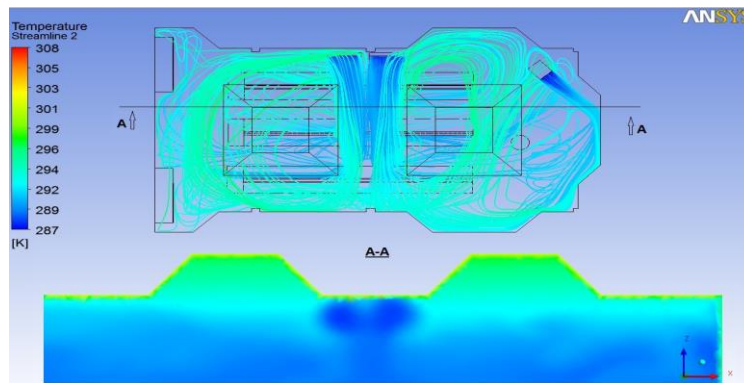
Figura 9. Simulación de la carga térmica en el interior del local.



Fuente: Figura obtenida por el autor con el software Trnsys.

La recomendación realizada al centro comercial fue la instalación de una capacidad de 20 toneladas de refrigeración (70.3kW) distribuidas en 4 minisplits de 5 toneladas cada uno. Aunque se conoce que según el criterio utilizado se introduce un elevado grado de sobredimensionamiento los meses de invierno, esta decisión está respaldada por la creciente tendencia en los últimos años al aumento de la temperatura global y una el posible régimen de trabajo alterno de los equipos que permitan un adecuado plan de mantenimiento sin tener que afectar el confort térmico en la instalación. Una prueba realizada antes de proponer un nuevo esquema para el sistema de clima fue observar que pasaría con la circulación del aire y la distribución de temperatura en el pasillo principal si los equipos se mantuvieran en la posición actual aunque con una mayor potencia de frío.

Figura 10. Circulación del aire y distribución de temperatura en el pasillo.

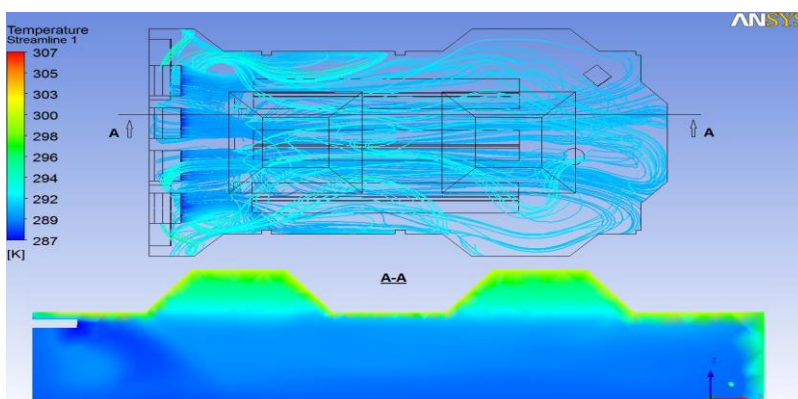


Fuente: Figura obtenida por el autor con el software Ansys.

En la figura 10 se puede observar que los resultados obtenidos son mejores que la situación actual que presenta la tienda aunque se observa una distribución no homogénea de la temperatura a lo largo de todo el pasillo. Existen 5°C de diferencia entre la zona de circulación del aire climatizado y otros puntos ubicados en el mismo pasillo. Tales resultados muestran la necesidad de una nueva ubicación para las unidades de terminales de impulsión.

Dado que el tipo de vena de aire que impulsan estos equipos es horizontal y no isoterma se decidió que la disposición de los equipos fuera transversal a los obstáculos con la circulación del aire paralela a los estantes, de esta manera la vena de aire frío impulsada no es obstaculizada y puede adentrarse lo suficiente en local para que ocurra una buena mezcla. La pared interior propuesta para ubicar los equipos es la norte, a 0.2 metros del techo y con el fluido circulando directamente hacia los pasillos. De esta manera se garantiza un mayor alcance del aire frío, mejor mezcla y se eliminan las zonas muertas en la circulación. En la figura 11 se muestra la circulación del aire frío en el interior del local y la distribución de temperatura espacial del pasillo principal según los resultados obtenidos con el MEF.

Figura 11: Nuevo esquema del sistema de climatización y distribución de temperatura en el pasillo.



Fuente: Figura obtenida por el autor con el software Ansys.

El nuevo esquema muestra un comportamiento homogéneo de la temperatura a lo largo del plano vertical del pasillo principal, sin grandes diferencias térmicas y con valores de temperaturas dentro de los parámetros de confort esperados.

Conclusiones

No es posible utilizar la técnica termografía, la simulación con el software Trnsys o la modelación con el MEF como herramientas individuales para caracterizar un sistema de climatización. Para la simulación de cargas térmicas se necesitan los puntos calientes y las infiltraciones obtenidas con la termografía, así como para la modelación del aire en el interior del local con el MEF se necesita la termografía para validar los resultados.

En el caso de estudio es insuficiente la capacidad de frío instalada para satisfacer las necesidades de confort en el interior del local, lo cual se observa con las altas temperaturas operativas obtenidas a partir de la simulación realizada con el software Trnsys en las condiciones actuales.

El sistema instalado posee una mala ubicación, el aire frío no es capaz de adentrarse lo suficiente en el local pues la vena de aire es obstaculizada por los estantes, como se puede observar en las imágenes termográficas. Los resultados obtenidos con las imágenes termográficas y la modelación con el MEF demostraron que es inadecuada la ubicación de las unidades terminales de impulsión. Para satisfacer las condiciones térmicas de confort en el caso de estudio es necesario instalar 20 toneladas de refrigeración(70.3kW) distribuidas en cuatro equipos de 5 toneladas de refrigeración cada uno, los que deben ser ubicados a 0.2 metros del techo y dirigiendo la vena de aire hacia los pasillos.

Bibliografía

ASHRAE. (1997). HVAC Applications.Termal Confort.

Boris. G Vega Lara, L. M. (2015). Modeling and identification of the cooling dynamics of a tropical island hotel. Energy and Buildings, 92, 19-28. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815000432>

Busch, J. F. (12 de 1992). Tale of two populations:thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. Energy and Buildings, 235-249. Obtenido de http://www.researchgate.net/publication/223558787_Tale_of_two_populations_thermal_comfort_in_air-conditioned_and_naturally_ventilated_offices_in_Thailand

F. Oldewurtel, A. P. (Jun. 2010). Energy efficient building climate control using stochastic predictive control and weather predictions. American Control Conference(ACC), (págs. 5100-5105). Baltimore. Obtenido de http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5530680&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5530680

Leyat fernández Velazquez, t. C. (2014). Aplicación de Gestión Total Eficiente de Energía en el Centro Internacional de Salud “La Pradera”. Ingeniería Energética, 35(2), 112-121. Obtenido de <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/395>

Osmel Cabrera Gorrín, A. B. (2004). Evaluación del indicador kWh/HDO de eficiencia eléctrica en instalaciones hoteleras. Retos turísticos, 38-41. Obtenido de <http://biblat.unam.mx/es/revista/retos-turisticos/articulo/evaluacion-del-indicador-kwhhdo-de-eficiencia-electrica-en-instalaciones-hoteleras-cubanas>

- Ramos, M. C. (2012). Determinación de estándares de confort térmico para personas que habitan en clima tropical sub-húmedo. IX Maestría en Energía Renovable.Arquitectura y Urbanismo.La Ciudad Sostenible., Universidad Internacional de Andalucía, Andalucía. Obtenido de http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1697/0241_Covarrubias.pdf?sequence=1
- Rodríguez, H. (2009). Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciarios,grandes establecimientos comerciales,centros comerciales. Conferencia presentada en Asprea, Bogotá. Obtenido de http://www.asprea.org/Pres_ASPREA%20h-rodriguez.pdf
- S. Privara, J. S. (2011). Model predictive control of a building heating system: The first experience. *Energy and Buildings*, 43, 564-572. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810003749>
- S.Privara, J. C. (2013). Building modeling as a crucial part for building predictive control. *Energy and Buildings*, 56, 8-22. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812005336>
- Vehelts, C. (2012). Model Predictive Control of Ground Coupled Heat Pump Systems for Office Buildings. Ph.D. Dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Engineering, Catholic University of Leuven, Belgica. Obtenido de https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/342642/1/PhD_CVerhelst.pdf

Autores.

José Alejandro Madrigal Monzón. Ingeniero Mecánico. Profesor del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Cienfuegos, Cuba (2013-2015). Actualmente estudiante de Maestría de Ingeniería en Energía en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y becario de CONACYT.e-mail: jamadrigal1988@gmail.com

Augusto Sánchez Cifuentes. Máster en Ciencias.Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y jefe del Departamento de Eficiencia Energética. .e-mail:augsan@unam.mx

*Mario Jesús Espín Pérez.*Ingeniero Mecánico.Estudiante de maestría en Cominsa, México.e-mail:mjeperez@gmail.com

Juan José Cabello Eras. Doctor en Ciencias.Profesor de la Universidad de Cienfuegos y jefe del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente(CEEMA).e-mail: jjcabe2013@gmail.com

Herramientas de Evaluación de la Sustentabilidad Edilicia. Análisis Comparativo desde la Perspectiva Argentina

Lucia Rumi¹, María C. Montero², Néstor F. Ortega³

Resumen

Existe una gran cantidad de indicadores y herramientas de evaluación que han sido desarrollados para evaluar la sustentabilidad de las construcciones. Sin embargo, la mayoría de estas herramientas están basadas en estándares, normativas de edificaciones y métodos de construcción propios del país de origen. El propósito de esta investigación es la identificación, análisis y comparación de diferentes métodos y herramientas de evaluación, profundizando la forma de abordar las problemáticas, detectando vacíos existentes en ellas. Se estudian herramientas de evaluación internacionales como LEED, BREEAM, CASBEE, VERDE y CEPAS, estableciendo similitudes y diferencias, potencialidades y características particulares de cada una. En el trabajo se incluye la posible utilización o adaptación de estos métodos a la realidad de Argentina, teniendo en cuenta no solo los aspectos ambientales, sino también los económicos y sociales. Se concluye determinando la necesidad de establecer un método para identificar y seleccionar indicadores realistas a partir de la situación local.

Palabras clave: evaluación de sustentabilidad; edificaciones; indicadores; países en desarrollo.

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur y CONICET. Av. Alem 1253 – 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Tel. 0291 4595100 Int. 3226. e-mail: lucia_rumi@hotmail.com

² Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional. 11 de Abril 461 – 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Tel. 0291 4555220. Int. 177. e-mail: monteromc@gmail.com

³ Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur y CONICET. Av. Alem 1253 – 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Tel. 0291 4595100 Int. 3226. e-mail: nfortega@criba.edu.ar

Sustainable Building Assessment Tools. Comparative Analysis from the Argentinian Perspective

Abstract

There are plenty of indicators and assessment tools have been developed to assess the sustainability of buildings. However, most of these tools are based on standards, building regulations and construction methods from the country that developed them. The aim of this research is the identification, analysis and comparison of different methods and assessment tools, deepening of problem approach and detecting existing gaps in them. International assessment tools such as LEED, BREEAM, CASBEE, GREEN and CEPAS have been studied, establishing similarities and differences, potential and particular characteristics of each. In this research, it is included the possible use or adaptation of these methods to the local situation of Argentina, taking into account not only environmental aspect, but also economic and social ones. It is concluded by determining the need for a method to identify and select realistic indicators from the local situation.

Keywords: sustainability assessment; buildings; indicators; developing countries.

1. Introducción

“Aun cuando a simple vista una buena parte de las herramientas de evaluación de la sustentabilidad edilicia parecen ser similares, es decir, suelen dividirse en categorías de la misma manera y distribuir los créditos de acuerdo a las condiciones locales (o no), existen varias maneras de abordar el tema” (Ramos Sanz, 2009: 8).

En el presente trabajo se exponen algunas de estas herramientas pertenecientes a diferentes países, con el objetivo de establecer similitudes y diferencias, potencialidades y características particulares de cada una.

Los métodos de evaluación desarrollados en países del Primer Mundo tienden a enfocarse en aspectos ambientales, sin embargo no suelen abordar los aspectos sociales y económicos (Cole, 2005: 455-467; Cooper 1999: 321-331). En países en vías de desarrollo hay un gran interés en el uso de la construcción y las industrias relacionadas para generar efectos sociales y económicos, tales como la creación de empleo, por lo que surge la demanda de criterios de sustentabilidad sociales y económicos (Gibberd, 2014: 49-61).

Este trabajo hace una descripción y comparación de las siguientes herramientas de evaluación: LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) desarrollada en EEUU, BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) en el Reino Unido, VERDE en España, CEPAS (Comprehensive Environmental Performance Assessment Schemes) en Hong Kong, y CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) en Japón.

2. Metodología

2.1. Descripción de las herramientas de evaluación.

Las metodologías LEED y BREEAM consisten en el uso de una sumatoria de puntos obtenidos a partir del cumplimiento de ciertos objetivos contenidos en diferentes criterios. Estos criterios son agrupados en categorías. El puntaje disponible para cada criterio es variable. A mayor puntaje obtenido, más sustentable será la construcción. Cuentan también con requisitos mínimos que son de cumplimiento obligatorio, y criterios extraordinarios que brindan la posibilidad de incluir medidas innovadoras que no se encuentran explícitamente incluidas en cada herramienta.

La herramienta de evaluación VERDE, evalúa la reducción de los impactos del edificio y su emplazamiento por la implementación de medidas, tanto en estrategias de diseño como en factores de rendimiento, agrupadas en una lista de criterios. “VERDE ha intentado reducir el grado de subjetividad, introduciendo un sistema de valoración de la reducción de impactos con los sistemas de cálculo actuales” (Macías et al, 2010: 14). A cada criterio se le asocia un peso por cada uno de los impactos asociados, que refleja la extensión, la duración y la intensidad, para realizar una evaluación relativa. “Para la evaluación de los impactos absolutos, el peso dado a las categorías de impacto está basado en la política medioambiental española y en los datos relativos a los indicadores de sostenibilidad” (Macías et al, 2010: 14).

El sistema de evaluación VERDE se basa en la estimación de la reducción de impactos del edificio a evaluar, en relación a los impactos generados por un edificio de referencia a lo largo de su vida útil. El edificio de referencia, es un edificio estándar que cumple estrictamente las exigencias mínimas, fijadas por la reglamentación y por la práctica consolidada por el estado de conocimiento. Los criterios tienen unos impactos asociados que les dotan de su peso relativo en la herramienta. La relación entre criterios e impactos está dada a través de una matriz propia del modelo. De esta manera, el usuario de la herramienta introduce los datos de su proyecto en los criterios correspondientes, obteniendo como resultado valores de reducción de los siguientes impactos: cambio climático, pérdida de la fertilidad, pérdida de vida acuática, emisiones de compuestos foto-oxidantes, cambios en la biodiversidad, agotamiento de energía de fuentes no renovables, agotamiento de recursos no renovables distintos de la energía primaria, agotamiento de agua potable, generación de residuos no peligrosos, pérdida de salud y confort para los usuarios, y riesgo para los inversores.

Una vez evaluados todos los criterios que contempla la herramienta VERDE, arroja un resultado adimensional, en forma de hojas VERDE, que varía de “cero hojas”, para un edificio que cumple la normativa sin mejorar su comportamiento ambiental, económico o social, a las “5 hojas” para aquel edificio que es capaz de generar la menor proporción de impactos.

Por su parte, CEPAS “introduce una distinción entre el desempeño físico (edificio) y el desempeño humano; ofreciendo una atención sobre el aspecto edificio-entorno, debido al problema regional de la densidad habitacional que acecha a su población. El método analiza la posibilidad de densificar la construcción, educar al usuario y provocar los mínimos impactos ambientales posibles” (Ramos Sanz, 2009: 8).

Esta última, considera todas las etapas del ciclo de vida de una construcción de manera explícita. Cada etapa es evaluada de manera aislada, obteniendo certificaciones diferenciales para cada una de

ellas. De esta manera, se pueden evaluar de forma aislada las etapas de: Prediseño, Diseño, Construcción y Operación. Se puede considerar esta característica como una ventaja, debido a que se analiza en profundidad todo el ciclo de vida de la construcción, sin embargo, este tipo de sistema de evaluación tiende a dejar de lado la visión global del problema.

Las distintas etapas son evaluadas a través de las mismas categorías y criterios. Los sub-criterios son propios de cada etapa evaluada. Dichos sub-criterios son ponderados mediante una escala de puntuación normalizada que varía entre 0 y 3. Pueden encontrarse ítems de innovación en muchos de los sub-criterios, en cuyo caso serán valorados con un punto más en la escala, llegando a 4 puntos en ese sub-criterio.

El sistema CASBEE se diferencia del resto, debido a que cambia la simple adición de puntos en cada área de desempeño del edificio, y proponiendo una puntuación global. La misma se obtiene por el cálculo de la diferencia entre las cargas ambientales y el desempeño del edificio. “La calidad del servicio debe ser mayor que las cargas ambientales, de manera que el desempeño puede considerarse eco-eficiente” (Ramos Sanz, 2009: 14).

El sistema de puntuación fue desarrollado teniendo en cuenta la aplicabilidad a cada tipo de construcción, pero manteniéndolo tan simple como fuera posible. Consta de una escala de 5 niveles, que van de 1 a 5, siendo el Nivel 3 la puntuación estándar. Como regla general, el Nivel 1 represente al que satisface las condiciones mínimas exigidas por las leyes, regulaciones y otros estándares de Japón. El nivel normal (Nivel 3) es un nivel correspondiente a las prácticas técnicas y sociales más comunes en el momento de la evaluación.

2.2. Categorías de evaluación

A continuación se enumeran las categorías de evaluación de cada una de las herramientas estudiadas, haciendo un análisis crítico, de acuerdo a la importancia relativa asignada a cada una de ellas.

La siguiente tabla (Tabla 1) incluye las categorías de evaluación de LEED y la importancia relativa de las mismas dentro de la herramienta.

Tabla 1. Categorías evaluadas en LEED.

| CATEGORÍAS | Importancia Relativa |
|------------------------------------|----------------------|
| Sitios sostenibles | 26% |
| Racionalización de consumo de agua | 10% |
| Energía y atmósfera | 35% |
| Materiales y Recursos | 14% |
| Calidad ambiental interior | 15% |

Fuente: Tabla basada en datos extraídos de LEED 2009 for New Construction and Major Renovations.

En LEED ninguna categoría supera el 35%. Habiendo una diferencia entre la categoría de mayor y menor importancia del 25%. La categoría a la que LEED da mayor importancia es Energía y Atmósfera. Todas las restantes categorías varían entre el 10 y 26%, siendo la de menor relevancia la categoría sobre el uso del agua.

Si bien cada categoría es evaluada a través de una triple propuesta de valor, que considera aspectos ambientales, sociales y económicos, esta herramienta se inclina esencialmente por el análisis de

factores ambientales. Esto puede visualizarse en la única categoría que tiene en cuenta, explícitamente, los aspectos sociales es la “Calidad Ambiental Interior”, focalizando en la mejora del confort y bienestar de los ocupantes del edificio. Por otro lado, considera más sustentable liberar superficie en el terreno, favoreciendo la construcción hacia arriba. Otra característica es que no considera a los residuos como una categoría aislada, sino que le otorga escasos puntos dentro de dos de los criterios utilizados.

A continuación se realiza un análisis similar para BREEAM, detallándolo en la Tabla 2.

Tabla 2. Categorías evaluadas en BREEAM.

| CATEGORÍAS | Importancia Relativa |
|--------------------------|----------------------|
| Gestión | 11,50% |
| Salud y bienestar | 14,00% |
| Energía | 18,00% |
| Transporte | 8,00% |
| Agua | 10,50% |
| Materiales | 12,00% |
| Residuos | 7,00% |
| Uso del suelo y ecología | 9,50% |
| Contaminación | 9,50% |

Fuente: Tabla basada en datos extraídos de BREEAM ES Nueva Construcción, 2015.

En el sistema BREEAM ninguna categoría supera el 20%. La diferencia entre la categoría que le otorga la mayor y la menor importancia es de un 11%. La categoría a la cual BREEAM da mayor relevancia es “Energía”. Las siguientes dos categorías con mayor porcentaje son “Gestión” y “Salud y Bienestar”, apuntando claramente a las mejoras en las condiciones sociales y económicas de los habitantes del edificio. Le otorga valor al área residuos, dedicándole una categoría particular, para evaluar estrategias destinadas a su almacenaje, recolección y tratamiento.

En VERDE existe un gran desequilibrio entre la importancia relativa de sus categorías (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías evaluadas en VERDE.

| CATEGORÍAS | Importancia Relativa |
|--------------------------------|----------------------|
| Parcela y emplazamiento | 7,50% |
| Energía y atmósfera | 42,70% |
| Recursos naturales | 33,20% |
| Calidad del ambiente interior | 13,80% |
| Aspectos sociales y económicos | 2,80% |

Fuente: Tabla basada en datos extraídos de VERDE NE Residencial y Oficinas V 1.c., 2015.

La categoría “Energía y atmósfera” se lleva más del 42% del global de los puntos, situación que parece excesiva, mientras que sumadas las 3 categorías menos relevantes alcanzan apenas el 24%. Si bien contiene una categoría específica de “Aspectos Sociales y Económicos”, ésta no llega al 3% del puntaje global de la herramienta.

A pesar de que VERDE se plantea como una herramienta que evalúa todo el ciclo de vida de la construcción, claramente inclina su análisis hacia la fase de la construcción del edificio (Tabla 4). En la etapa de ocupación del edificio profundiza en el uso del mismo, pero sin tener en cuenta aspectos de

mantenimiento, que son primordiales para culminar o prolongar el ciclo de vida, en condiciones aptas de habitabilidad.

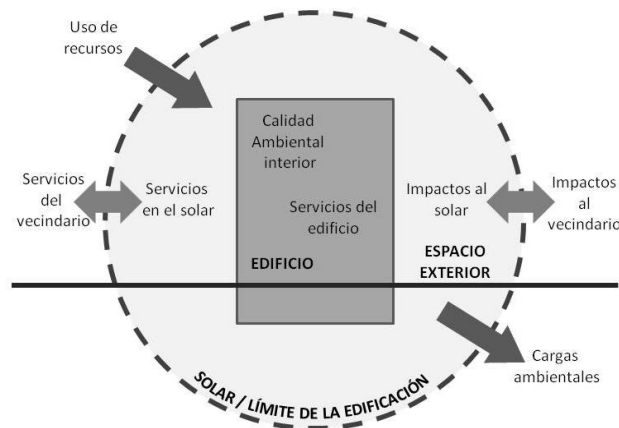
Tabla 4. Etapas del ciclo de vida analizadas por VERDE.

| Impactos evaluados en cada etapa, de acuerdo con las fases del ciclo de vida definidas por UNE-EN-15978-2012-1 | Etapas del ciclo de vida | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|---|---------|-------------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------|-------------|
| | A 1 Suministro de materias primas | A 2 Transporte | A 3 Fabricación | A 4 Transporte a obra | A 5 Proceso de construcción e instalación | B 1 Uso | B 2 Mantenimiento | B 3 Reparación | B 4 Sustitución | B 5 Rehabilitación | B 6 Uso de energía en servicio | B 7 Uso de agua en servicio | C 1 Deconstrucción y demolición | C 2 Transporte | C 3 Tratamiento de residuos | C 4 Vertido |
| Cambio climático | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida de fertilidad | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida de vida acuática | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Emisión de compuestos foto-oxidantes | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cambios en la biodiversidad | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Agotamiento de energía no renovable | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Agotamiento de recursos no renovables | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Agotamiento de agua potable | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Generación de residuos no peligrosos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida de salud, confort y calidad para los usuarios | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Riesgo y beneficios para los inversores | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: VERDE NE Residencial y Oficinas V 1.c. Guía para los Evaluadores Acreditados. 2015.

El sistema CEPAS considera el desempeño físico del edificio y el desempeño humano, poniendo énfasis sobre el aspecto edificio-entorno (Figura 1), y proponiendo aportes que tienden a la mejora y respeto por la comunidad. A partir de estas premisas se establecen las categorías de evaluación (Tabla 5).

Figura 1. Relaciones físicas entre las categorías de CEPAS.



Fuente: CEPAS Application Guidelines 2006 Edition.

Tabla 5. Categorías evaluadas en CEPAS

| Nomenclatura | CATEGORÍAS |
|--------------|----------------------------|
| IE | Calidad ambiental interior |
| BA | Servicios del edificio |
| RE | Uso de recursos |
| LD | Cargas ambientales |
| SA | Servicios en el solar |
| NA | Servicios del vecindario |
| SI | Impactos al solar |
| NI | Impactos al vecindario |

Fuente: Tabla basada en datos extraídos de CEPAS Application Guidelines 2006 Edition.

La herramienta CASBEE presenta, como característica particular, la asignación de puntuaciones a 2 categorías: Q y LR, por separado (Tabla 6).

Tabla 6. Categorías de evaluación de CASBEE.

| Nomenclatura | CATEGORÍAS |
|--------------|---|
| Q | Calidad ambiental de la construcción |
| Q1 | Ambiente interior |
| Q2 | Calidad de servicio |
| Q3 | Ambiente exterior (dentro de los límites de la parcela) |
| LR | Reducción de la carga ambiental de la construcción |
| LR1 | Energía |
| LR2 | Recursos y energía |
| LR3 | Ambiente exterior (fuera de los límites de la parcela) |

Fuente: Tabla basada en datos extraídos de CASBEE for Building (New Construction), 2014.

En base a estas puntuaciones se obtiene un indicador final, denominado BEE (Build Environmental Efficiency), a través de la aplicación de siguiente ecuación:

$$BEE = \frac{Q}{L} = \frac{25 \times (SQ - 1)}{25 \times (5 - SLR)} \quad (1)$$

Siendo:

- Q: Calidad ambiental de la construcción.
- L: Carga ambiental de la construcción, (LR: Reducción de L).
- SQ: Puntaje obtenido para la categoría Q.
- SLR: Puntaje obtenido para la categoría LR.

3. Resultados

3.1. Comparación de los diferentes métodos de evaluación

A continuación se presentan las dimensiones evaluadas por las distintas herramientas y la importancia relativa que le es asignada a cada una de ellas (Tabla 7). Las dimensiones consideradas son: uso del suelo, transporte, residuos, materiales, agua, energía, contaminación, calidad ambiental interior, aspectos sociales y económicos, y gestión. A su vez, se realiza un segundo análisis agrupando esas dimensiones en grandes áreas, para completar el análisis comparativo. En los casos de las

herramientas de LEED, BREEAM y VERDE se muestran los valores o puntuaciones correspondientes a los criterios incluidos en las dimensiones enumeradas. En CASBEE Y CEPAS no es posible hacer este análisis, sin embargo se enuncian las categorías que, en cada herramienta, profundizan en las dimensiones indicadas.

Tabla 7. Dimensiones contenidas en cada herramienta y su nivel de importancia.

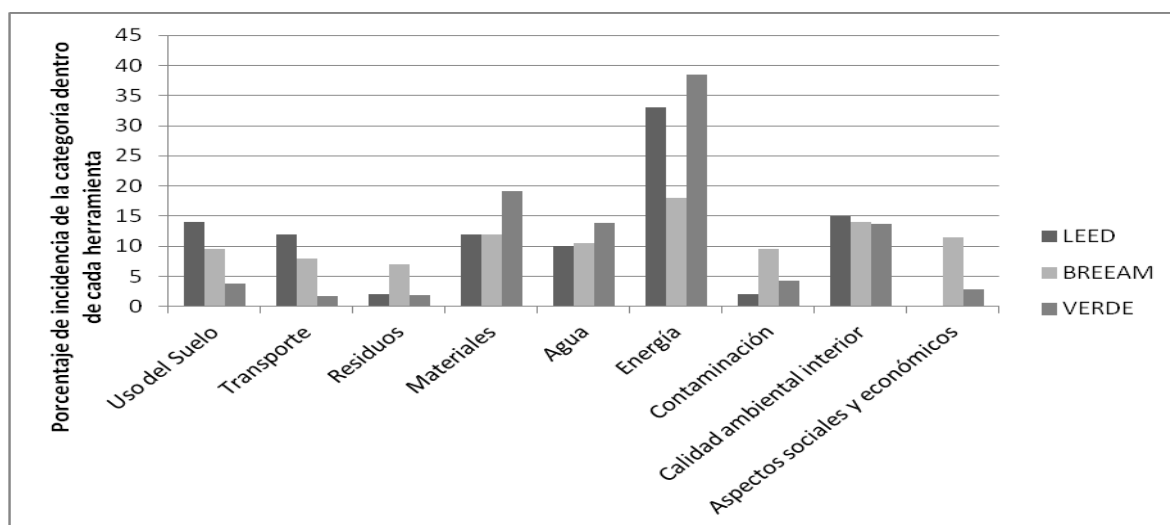
| DIMENSIONES | LEED | | BREEAM | | VERDE | | CASBEE | CEPAS |
|--|------|----|--------|------|-------|------|--------|-------------|
| Uso del Suelo | 14 | 28 | 9,5 | 24,5 | 3,81 | 7,5 | Q3 | SI/NI |
| Transporte | 12 | | 8 | | 1,8 | | - | NA |
| Residuos | 2 | | 7 | | 1,91 | | - | LD |
| Materiales | 12 | 22 | 12 | 22,5 | 19,2 | 33,1 | LR2 | RE |
| Agua | 10 | | 10,5 | | 13,9 | | | RE |
| Energía | 33 | 35 | 18 | 27,5 | 38,4 | 42,8 | LR1 | RE |
| Contaminación | 2 | | 9,5 | | 4,33 | | LR3 | LD |
| Calidad ambiental interior | 15 | 15 | 14 | 14 | 13,8 | 13,8 | Q1 | IE |
| Aspectos sociales y económicos / Gestión | - | - | 11,5 | 11,5 | 2,78 | 2,8 | Q2 | BA/NI/SA/NA |

Fuente: Tabla realizada por los autores.

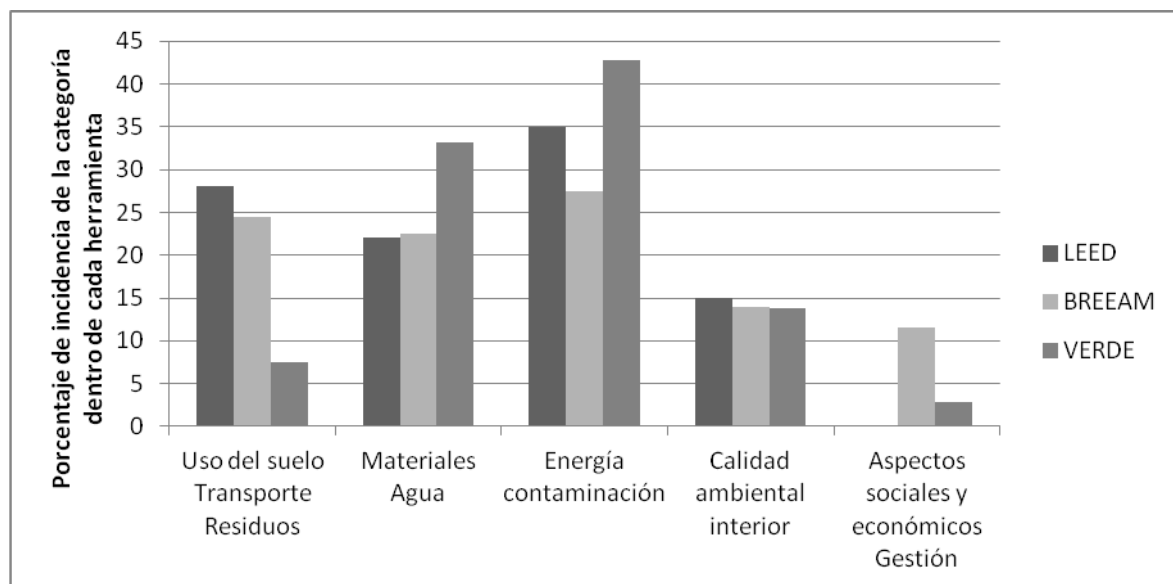
Como puede observarse, al comparar las normas, CASBEE no tiene en cuenta la incidencia de las dimensiones transporte y residuos. CEPAS es la que posee todas las dimensiones, otorgando mayor importancia a los aspectos sociales y económicos, lo que se ve reflejado en la cantidad de categorías que evalúan estos temas. Dentro de los aportes realizados a estas categorías se pueden enunciar: seguridad, economía del edificio, economía sustentable, conservación del patrimonio, impactos en comunidades, carácter cultural e inclusión, entre otros.

Las siguientes figuras (Figura 2 y 3) se grafican el análisis comparativo de categorías y criterios evaluados en cada herramienta y su importancia relativa.

Figura 2. Dimensiones contenidas en LEED, BREEAM y VERDE y su nivel de importancia.



Fuente: Figura realizada por los autores.

Figura 3. Dimensiones agrupadas en grandes áreas y su nivel de importancia.

Fuente: Figura realizada por los autores.

En los dos gráficos anteriores se puede observar como BREEAM mantiene un cierto equilibrio en el grado de importancia de cada categoría, ya sea en el macro análisis, como en el más detallado. Las herramientas de LEED y VERDE, en cambio, presentan una gran variación en la importancia asignada a los distintos aspectos evaluados.

3.2. Problemáticas ambientales en Argentina

Actualmente el crecimiento urbano de las ciudades se está produciendo a un ritmo acelerado en América Latina y el Caribe, siendo la segunda región más urbanizada del planeta. Según Naciones Unidas, el crecimiento de la tasa de urbanización del 41%, en 1950, ascendió al 79%, en 2010. Se considera que de continuar esta alza dentro de 20 años, poco menos de la totalidad de la población latinoamericana vivirá en ciudades (90%) (Naciones Unidas, 2012:2).

Hoy Latinoamérica, en general, presenta un cambio de rumbo hacia la reconfiguración de un nuevo paradigma, en el pasado el crecimiento se concentraba en las llamadas “Grandes ciudades”, las que tenían una expansión acelerada, aunque actualmente se observa un fenómeno nuevo. A pesar de que las grandes metrópolis latinoamericanas siguen teniendo un peso importante en la región, estas megaurbes (por ejemplo, Buenos Aires, Ciudad de México, San Paulo, entre otras) ya no son las que tienen las mayores tasas de crecimiento demográfico y económico (Fernández, 2005: 23-26).

En la actualidad, se acentúa el proceso en el que son las ciudades intermedias las que alcanzan las mayores tasas de crecimiento. Por ellos, este nuevo paradigma de urbanización está creando enormes retos para las ciudades emergentes de América Latina y el Caribe.

La problemática ambiental actual de las ciudades latinoamericanas, integra varios aspectos que configuran su caracterización actual convirtiéndose, en los últimos años, en temas importantes recurrentes: la dificultad de varios sectores al acceso a la tierra, la vivienda pública en escala, no siempre apropiada y deficientemente localizada, las interfases rural-urbano, el rápido deterioro de

las zonas periurbanas que crecen sin controles, ni guías, el suelo y el desarrollo inmobiliario, el acceso a los servicios de agua potable que abastezcan con un volumen suficiente, con una calidad aceptable a toda la población, la inadecuada provisión de cloacas y evacuación de excretas, la contaminación de los cursos de agua que atraviesan las ciudades y los acuíferos subterráneos, las dificultades para resolver la disposición y recolección de los residuos sólidos domiciliarios, los efluentes industriales, la contaminación del aire como consecuencia de la falta de control sobre las emisiones de las fábricas y los vehículos, los desastres de origen natural (inundaciones, sismos, deslizamientos), debidos a la ocupación no planificada y no controlada del suelo en áreas de alto riesgo, los temas de desinversión pública en transporte, los impactos ambientales de la pobreza urbana, el alto grado de hacinamiento (a escala de las ciudades y dentro de las viviendas), la generación de empleo, los desafíos relacionados con el cambio climático (Di Place et al, 1991;37, BID, 2014;2-5, LEVEAU, 2012: 148).

El desafío pasa por lograr que este crecimiento se lleve a cabo en forma planificada y sustentable. Por lo tanto, del uso de estas herramientas deriva la necesidad de garantizar, a través de una adecuada gestión, servicios públicos de calidad, seguridad para sus habitantes, protección del ambiente, generación permanentemente de empleos y capacidad para abordar los desafíos derivados del cambio climático (Fernández, 2003:8).

Como puede observarse y de acuerdo al estudio de metodologías de evaluación de la sustentabilidad descritas anteriormente, que son desarrolladas e implementadas en países con estándares de vida óptimos, o al menos, muy superiores a los de nuestro país, se puede decir que estas herramientas no logran dar una respuesta exacta a las problemáticas propias de las ciudades intermedias, en nuestro país y en la mayoría de América Latina.

Por lo expuesto, el uso de ciertos criterios de estas metodologías provenientes de otros países y sus potencialidades, podrían ser tomadas como punto de partida o referencia, para luego desarrollar los propios, formulando indicadores adecuados a nuestro contexto nacional, local y regional.

4. Conclusiones

En los últimos años, la evaluación de la sustentabilidad se ha convertido en un tema de intensa actividad. En términos generales, se plantea la elaboración de listas de indicadores de la sustentabilidad y de sus marcos metodológicos, estos son los principales esfuerzos encaminados a proporcionar estrategias para su evaluación.

Realizado el análisis comparativo de las diferentes herramientas, y considerando las grandes diferencias existentes, desde el punto de vista económico, social, político y ambiental, entre distintas naciones, por ello, no parece adecuado pensar que un mismo método de medición de la sustentabilidad en las construcciones se pueda aplicar directamente de un país a otro, que tenga una realidad muy distinta. En países en vías de desarrollo, existen problemáticas que se consideran mucho más preocupantes y urgentes, que el estado en el que puede degradarse el ambiente, por ello, el objetivo de los países en vías de desarrollo consiste en satisfacer las necesidades básicas (que en los países desarrollados, ya están satisfechas) sin comprometer al ambiente (Gibberd, 2014: 49-61, Ramos Sanz, A., 2009;1-3).

Debido a estos factores resulta imprescindible que se estudie la posibilidad de desarrollar una herramienta de evaluación de la sustentabilidad en las construcciones, que parta del estudio de las

problemáticas específicas de nuestro país. Pareciendo razonable pensar que los criterios de ponderación deberían poder adaptarse o crearse, para tener en cuenta los condicionantes ambientales locales y la propia legislación. Tal es así que este trabajo está comprendido dentro de la Tesis Doctoral titulada: “Modelo para Evaluar la Sustentabilidad en Edificios”, que está siendo llevada a cabo una de las autoras, Lucía Rumi, bajo la Dirección de otro de los autores, Néstor F. Ortega. Los nuevos indicadores ambientales, económicos y sociales, adaptados y/o formulados que se recopilen o desarrollen, permitirán generar una base común de información cuantitativa, selecta, procesada y contextualizada. Esto facilitará la objetivación de los procesos que habrá que considerar a la hora de tomar decisiones, de intervenir y de evaluar. La información depurada que desplieguen, abrirá una plataforma de contenidos compartidos que facilitarán una mejor comunicación y toma de decisiones, respecto de políticas públicas e intervenciones específicas, allí donde los problemas sean mayores, críticos o más urgentes.

5. Bibliografía

- Banco Interamericano de Desarrollo (2011). Iniciativa Ciudades Emergentes y Sustentables (ICES). Disponible en: <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/iniciativa-ciudades-emergentes-y-sostenibles,6656.html>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2014) Guía Metodológica- Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Segunda edición. <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/implementacion-del-enfoque-de-la-iniciativa-ciudades-emergentes-y-sostenibles,7641.html>
- BREEAM ES Nueva Construcción (2015). Manual Técnico. Disponible en: www.breeam.es
- CASBEE for Building (New Construction). Technical Manual (2014). Disponible en: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/>
- CEPAS Comprehensive Environmental Performance Assessment Scheme for Buildings (2006). Application Guidelines. Disponible en: <http://www.bd.gov.hk/english/documents/index CEPAS.html>
- Cole, R.J. (2005). Building environmental assessment methods: Redefining intentions and roles. *Building Research & Information*, 33, pp. 455-467.
- Cooper, I. (1999). Which focus for building assessment methods – environmental performance or sustainability? *Building Research & Information*, 27, pp. 321-331.
- Di Place, M., Federovisky, S., Hardoy, J.E. (1991). Problemas Ambientales en Ciudades Argentinas. *Revista Medio Ambiente y Urbanización*, 37, pp. 3-26, Buenos Aires.
- Fernández, R. + T.I.P.U. (2003). *Arquitectura y Ciudad: Del Proyecto al Eco-Proyecto*. Editorial Juan O’Gorman, pp. 42 a 45, Buenos Aires.
- Fernández, R. (2005). Ciudades Urbanas, Ausencia de modernidad y apogeo de la postplanificación, p. 22. Disponible en: <http://www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2230694.pdf>
- Gibberd, J. (2014). Measuring capability for sustainability: The Built Environment Sustainability Tool (BEST). *Building Research & Information*, 43, pp. 49-61.

- LEED (2009). for New Construction and Major Renovations Rating System. USGBC Member Approved November 2008 (Updated October 2013). Disponible en: <http://www.usgbc.org/leed>
- LEVEAU, Carlos M. (2012). Urbanización y contraurbanización en Argentina: un análisis del sistema de asentamientos. Naciones Unidas World Urbanization Prosect. ISSN1405-7425 <http://www.redalyc.org/articulo.oaid=11219270007>. http://esa.un.org/unup/Analytical-Figures/Fig_1.htm.
- Macías, M.; García Navarro, J. (2010). Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. Informes de la Construcción, 62, 517.
- Naciones Unidas (2012), World Urbanization Prospects, http://esa.un.org/unup/Analytical-Figures/Fig_1.htm.
- ONU-Habitat (2012). Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe, Rumbo a una nueva transición urbana; Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Disponible en: <http://www.unhabitat.org/HS/053/12S>.
- Ramos Sanz, A. (2009). Trasfondo teórico, confusiones y adaptaciones lejanas de los métodos de evaluación de la sustentabilidad, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES), Vol. 13, Río Cuarto. ISSN 0329-5184. <http://www.irpha.com.ar>
- VERDE NE Residencial y Oficinas V 1.c. (2015). Guía para los Evaluadores Acreditados. Disponible en: <http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verde>

6. Autores

Lucia Rumi es Ingeniera Civil y Becaria Doctoral de CONICET, cursando el Doctorado en Ingeniería en la Universidad Nacional del Sur. lucia_rumi@hotmail.com

Ma. Cecilia Montero es Ingeniera Civil, Especialista en Ingeniería Ambiental y Seguridad e Higiene Laboral, Investigadora y Profesora Adjunta UTN-FRBB. monteromc@gmail.com

Néstor F. Ortega es Ingeniero Civil, Doctor Ingeniero, Profesor Titular y Director Decano, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur. Ex-Subsecretario de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Bahía Blanca. nfortega@criba.edu.ar

Evaluación de los indicadores de desempeño en edificios del Mercosur.

Gabriela Reus Netto¹, Jorge Daniel Czajkowski²

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo identificar los indicadores de desempeño utilizados para calificar los edificios en las reglamentaciones y sistemas de etiquetado edilicio de los países del Mercosur. Para la realización de este artículo se estudió el conjunto de documentos normativos y legales sobre certificación edilicia encontrados en Argentina, Brasil y Chile, además del material libre disponible. Se estudió la Norma IRAM 11.900 referente al etiquetado de eficiencia energética de calefacción para edificios de Argentina; el programa PBE Edifica, sobre el etiquetado de edificaciones públicas, comerciales, de servicio y residenciales de Brasil y la Certificación de Edificio Sustentable de Chile. Se contrastaron las características generales y los requisitos exigidos por el sistema de certificación de cada país y se establecieron las principales diferencias y similitudes entre ellos. Finalmente se rescató la particularidad de cada sistema de calificación y se plantea para un segundo momento, construir una propuesta posible de ser aplicada al el espacio sudamericano.

Palabras clave: Indicadores, desempeño edilicio, Argentina, Brasil, Chile.

Evaluation of performance indicators in residential buildings of Mercosur.

Abstract

The aim of this paper is to identify the performance indicators used to qualify buildings in regulations and labeling systems in Mercosur's countries. I studied the set of standards and legal documents about buildings certification in Argentina, Brazil and Chile, apart from the free available works found in the internet. I analyzed IRAM Standard n° 11.900 about building labeling on energy efficiency in heating in Argentina, the PBE Edifica program, about public, commercial, service and residential building labelling in Brazil and the Sustainable Building Certification in Chile. I contrasted general characteristics and requisites according to the certification systems of each country: I compared the differences and similarities between them. Finally, I propose recommendations to contribute to the improvement of the studied certificates in order to make a common system for the whole Mercosur area.

^{1 y 2} Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LAyHS FAU UNLP). Calle 47 N°162 CC 478 – B1900GGD La Plata, Buenos Aires, Argentina. Tel/fax: +54-221-423-6587 interno 255. e-mail: layhs@fau.unlp.edu.ar

Keywords: Indicators, performance buildings, Argentina, Brazil, Chile.

Introducción

El sector de la construcción civil presenta una producción direccionada al retorno financiero, donde la obra resulta de condicionantes legales de la zona, de la parcela, del tipo de uso, además de características referentes al proyecto arquitectónico, complejas de analizar.

Desde la década de 1970 (Bouwcentrum, 1973) se trabaja en Latinoamérica con normativas, reglamentaciones y certificaciones que buscan mejorar la calidad de las edificaciones. Para ello, se establecen límites de valores que deben presentar los elementos considerados, como por ejemplo la tasa de permeabilidad y ocupación para indicadores urbanísticos (Código de ordenamiento urbano, 2011), (Ley general de urbanismo y construcciones, 2014), (Codigo de obras e edificacoes, 1992) y el índice de compacidad y la densidad del muro para indicadores de proyecto.

Los indicadores marcan aspectos esenciales para la calificación de un determinado producto evaluado y tiende a ser de fácil interpretación y aplicación (Gouveia, 2013), permitiendo analizar la tendencia a lo largo del tiempo y comparar con otros productos, o en este caso con demás edificios, de manera que se pueda elegir el más favorable dentro de determinados aspectos (Bellen, 2015).

Comprendiendo que los parámetros generalmente utilizados por el sector de la construcción civil se encuentran vinculados al proceso de construcción a corto plazo (Gomes, 2012), el objetivo de este trabajo es (i) identificar los indicadores de desempeño utilizados para calificar los edificios en las reglamentaciones y sistemas de etiquetado edilicio de los países del Mercosur; (ii) definir las principales coincidencias y divergencias entre sistemas; y (iii) establecer las características rescatables de cada país analizado.

A partir de este trabajo, en un segundo momento, se busca construir una propuesta posible de ser aplicada a todo el espacio sudamericano. De esta forma, el sistema de calificación resultante actuará como guía para los profesionales, sirviendo de herramienta proyectual para mejorar el desempeño edilicio y permitiendo que los usuarios obtengan una lectura más clara sobre la performance del edificio a largo plazo.

Metodología

Para la realización de este artículo se identificó que Argentina y Brasil son los países integrantes del Mercosur que presentan sistemas de certificación de desempeño edilicio. Siendo Chile un estado asociado, se decidió añadirlo al grupo de análisis observando que el país también posee su sistema de calificación.

Este trabajo se fundamenta en el estudio de documentos normativos y legales sobre certificación edilicia encontrados en Argentina, Brasil y Chile, además del material libre disponible.

Se estudia la Norma IRAM 11.900 referente al etiquetado de eficiencia energética de calefacción para edificios de Argentina; el programa PBE Edifica, sobre el etiquetado de edificaciones públicas, comerciales, de servicio y residenciales de Brasil y la Certificación de Edificio Sustentable de Chile.

Se identificaron las características generales y los requisitos exigidos por el sistema de certificación de cada país y se establecieron las principales diferencias y similitudes entre ellos.

Caso de Argentina

Con la finalidad de considerar la eficiencia energética un componente imprescindible para la política energética y la preservación del medio ambiente (IRAM, 2010), la Secretaría de Energía dependiente del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, en el marco del Decreto 140 de diciembre de 2007 estableció el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía.

El Decreto establece objetivos y lineamientos generales para desarrollar las acciones propuestas en el PRONUREE y en el contexto de la eficiencia energética edilicia, expone como medida el inicio de gestiones conducentes para el diseño de un sistema de certificación energética de viviendas, el cual establezca índices máximos de consumo, tanto de energía eléctrica como de energía térmica (Ministerio de Planificación Federal, 2007).

En este contexto se desarrolló la Norma IRAM 11.900/10 (IRAM, 2010), intitulada como “Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente”, la cual está destinada a todo edificio susceptible de ser calefaccionado.

La etiqueta de eficiencia energética, detallada en la norma, busca informar a los usuarios la eficiencia térmica que presenta la envolvente de un determinado edificio. Para eso califica la eficiencia de la envolvente a través de un cuadro compuesto por ocho niveles, identificadas por las letras A, B, C, D, E, F, G y H, siendo la letra A la más eficiente y la H la menos eficiente.

Tabla 1: Niveles de eficiencia energética, según el valor de τ_m ,

| Clases de eficiencia energética | Condición |
|---------------------------------|---|
| A | $\tau_m \leq 1 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| B | $1 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| C | $1,5 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 2 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| D | $2 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| E | $2,5 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| F | $3 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| G | $3,5 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 4 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| H | $\tau_m > 4 \text{ }^\circ\text{C}$ |

Fuente: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Norma IRAM 11.900 (IRAM, 2010).

El nivel de eficiencia energética de la envolvente del edificio será definido en función del valor del indicador Tau (τ_m), es decir, la variación media ponderada de la temperatura, entre la superficie interior de la envolvente y la temperatura interior de diseño, conforme se verifica en la Tabla 1.

Para el cálculo del indicador Tau (τ_m) se utiliza la Ecuación 1. Se considera una temperatura interior de diseño de 20 °C y en el caso de edificios con varias unidades funcionales se realiza la verificación individualmente.

Ecuación 1: Cálculo de la variación media ponderada de la temperatura (τ_m)

$$\tau_m = \frac{\sum (\tau_i \cdot S_i)}{\sum S_i} \quad (1)$$

Fuente: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Norma IRAM 11.900 (IRAM, 2010).

En dónde:

$$\tau_i = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W} \cdot K_i \cdot \Delta t$$

Siendo

- $0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ la resistencia térmica superficial interior, en °C,
- K la transmitancia térmica ($m^2 \cdot K$) $\frac{1}{R_t}$,
- R_t resistencia térmica superficial total, ($m^2 \cdot K/W$),
- K_i la transmitancia térmica de cada una de las componentes de la envolvente-paredes y techo ($Wm^2 \cdot K$),
- Δt la diferencia de temperatura de diseño interior y exterior (°C), y
- S_i la superficie de cada una de las componentes de la envolvente (m^2)

A partir del resultado se puede conocer el nivel de eficiencia térmica que presenta la envolvente analizada y confeccionar la etiqueta, según la Figura 1.

En septiembre de 2010 la Secretaría de Energía disponibilizó en su [sitio web](#) una aplicación que permite calcular la etiqueta de eficiencia de calefacción según la metodología mencionada en la IRAM 11.900 y el manual igualmente publicado en el sitio.

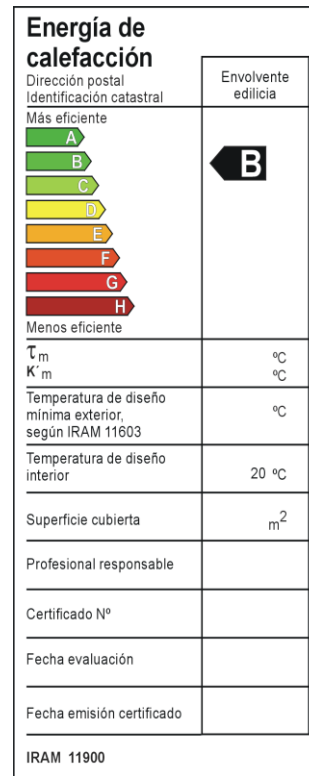
Caso de Brasil

Impulsado por la crisis del petróleo y buscando una medida preventiva, el *Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia (INMETRO)* en 1984, inició la discusión sobre la conservación de la energía, buscando concientizar los ciudadanos y disminuir la demanda energética en Brasil (MME, 2011).

Este proyecto recibió el nombre de *Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)*, que a través de la *Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)* informa a los consumidores el cumplimiento del producto analizado con los requisitos de desempeño estipulados en normas y reglamentos técnicos nacionales, teniendo como principal información la eficiencia energética (EPE, 2007).

Siguiendo la línea de conservación de energía *la Eletrobrás* en conjunto con el *Ministério de Minas e Energia*, estableció en 2003 el *Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações - Procel EDIFICA*³. Este subprograma extiende la preservación de los recursos naturales a las edificaciones, buscando la mejora en el confort interno en el sector edilicio del país.

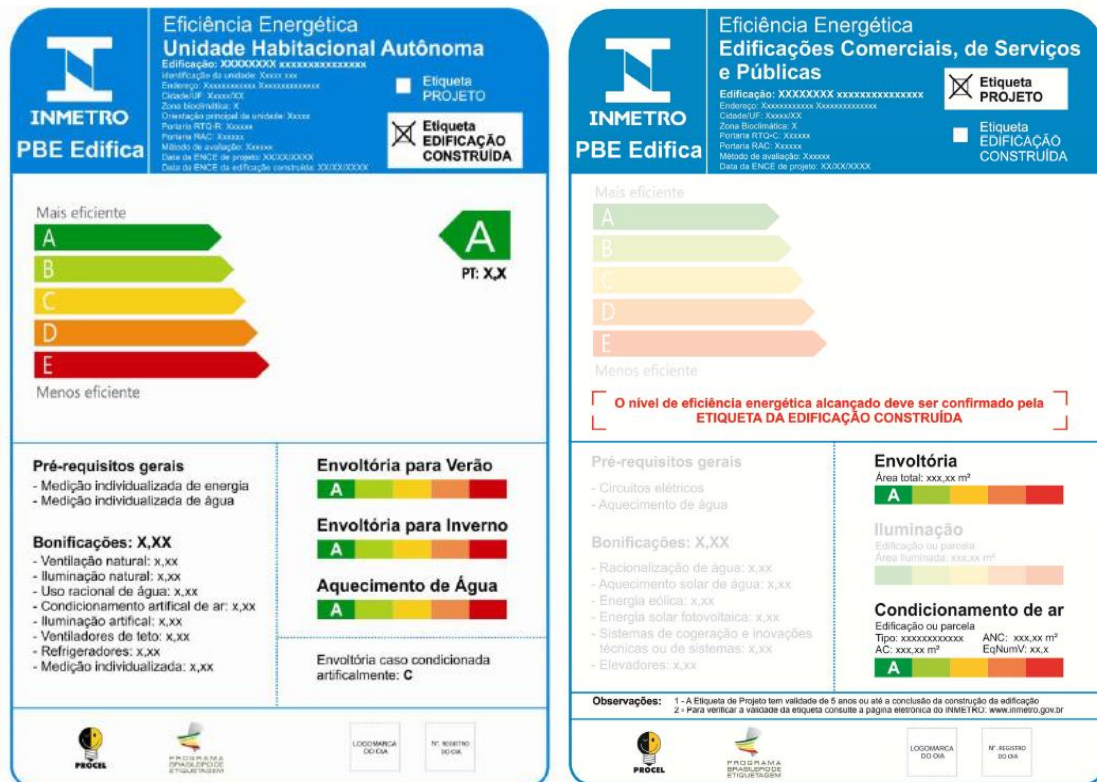
Figura 1: Modelo de etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios en Argentina.



Fuente: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Norma IRAM 11.900 (IRAM, 2010).

³ Según informaciones del [sitio web del Procel](#).

Figura 2: Modelo de la etiqueta ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) general para un edificio residencial y parcial para un edificio comercial, de servicio y público.



Fuente: [Sitio Web del PBEEdifica](#) – Manual *Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ)*.

El Procel EDIFICA establece condiciones para la clasificación del nivel de eficiencia térmica del edificio analizado y otorga una etiqueta de conservación de energía en función de su desempeño. La etiqueta puede ser general o parcial, siendo que la general evalúa el desempeño del conjunto de los sistemas, mientras la parcial indica el desempeño de cada sistema aisladamente (Eletróbrás, 2013).

El modelo de la etiqueta y la metodología de análisis⁴ de los requisitos varían según el uso del edificio. Cuando residencial se evalúa la envolvente y el sistema de calentamiento de agua, cuando edificio comercial, de servicio y público se analiza la envolvente, la iluminación y acondicionamiento del aire.

La verificación puede ser realizada de forma simplificada o con una simulación energética y varía según el momento en que es concedida, en fase de proyecto o en su operación. El método prescriptivo es válido para edificios condicionados y se puede realizar a través de ecuación y tablas disponibles en el RTQ. El método de simulación permite comparar el desempeño del edificio estudiado con la performance de un edificio de referencia de forma más completa, incluyendo ambientes condicionados, no condicionados y la posibilidad de análisis de estrategias pasivas (Eletróbrás, 2013).

Para obtener la etiqueta general es necesario que los sistemas sean evaluados a través de la Ecuación 2, como se verifica a seguir:

⁴ Según información disponible en el [sitio web del Procel Edifica](#).

Ecuación 2: Cálculo de la clasificación general del edificio a través de distribución de los pesos de cada sistema.

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 \cdot (EqNumDPI) \\ + 0,40 \cdot \left\{ \left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b_0^1$$

Fuente: Manual Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) (Eletrobrás, 2013).

En dónde:

- 0,30 y 0,40: el peso para la clasificación,
- EqNumEnv: equivalente numérico de la envolvente,
- AC: superficie de los ambientes condicionados,
- AU: superficie útil,
- APT: superficie útil de los ambientes de permanencia transitoria - no condicionados,
- ANC: superficie útil de los ambientes de permanencia prolongada - no condicionados,
- EqNumV: equivalente numérico de ambientes no condicionados y/o ventilados,
- EqNumDPI: equivalente numérico del sistema de iluminación,
- EqNumCA: Equivalente numérico del sistema de condicionamiento de aire,
- b: el puntaje obtenido en las bonificaciones – varía de 0 a 1.

La explicación de cómo aplicar los criterios y requisitos se encuentra detallada en el manual *Regulamento Técnico da Qualidade*, disponible libremente en el sitio del Procel (Eletrobrás, 2013).

Actualmente la etiqueta tiene carácter voluntario, con el intuito de que el mercado se prepare y adapte de forma gradual a la metodología de clasificación.

Caso de Chile

La idea de desarrollar un sistema de certificación de sustentabilidad para edificios públicos en Chile existe desde el año de 1997, dónde buscan estimular la construcción de edificios con criterios de sustentabilidad e impulsar la valoración del mercado por esta forma de proyectar (IC, 2014).

Posterior a la discusión del tema y el trabajo del Instituto de la Construcción en conjunto con instituciones públicas y privadas, se desarrolló en 2014, el sistema de Certificación Edificio Sustentable. Tiene como objetivo alcanzar niveles adecuados de calidad ambiental interior, hacer uso eficiente de los recursos y reducir residuos y emisiones (IC, 2014).

El sistema propuesto está destinado a evaluar, calificar y certificar los edificios públicos en Chile, nuevos o existentes, de propiedad pública o privada. Para eso otorga un certificado de desempeño ambiental con base en el cumplimiento de diversas variables y requisitos mínimos obligatorios (IC, 2014), semejante al sistema LEED y al español.

Se posibilita la obtención de tres modelos de certificados. El pre-certificado que evalúa en la etapa de diseño el proyecto y las instalaciones del edificio. El sello “Edificio Sustentable” que corrobora que el proyecto, las instalaciones, los materiales y características de la envolvente térmica cumplen con las descripciones mencionadas en la etapa de proyecto (IC, 2014). Y el sello “Plus Operación” evalúa la gestión del edificio durante su operación, mediante un informe de auto-diagnostico que debe ser

entregue entre los 12 y 18 meses posteriores a la entrega del sello y a partir de este momento, informes anuales por un periodo de 3 años (IC, 2014).

Tabla 2: Variables y requerimientos para cada modelo de certificado - * indica requisito obligatorio

| ASPECTO | PROYECTO | INSTALACIONES | CONSTRUCCIÓN | OPERACIÓN |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------|---|
| Calidad del ambiente interior | Confort térmico | Calidad del aire * | | |
| | Confort visual * | Ruidos equipos | | |
| | Calidad del aire * | Confort visual * | | |
| | Confort Acústico * | Confort térmico * | | |
| Energía | Demanda de energía * | Iluminación artificial | | |
| | Hermeticidad de la envolvente * | Climatización y ACS * | | |
| | Energía incorporada | Otros Consumos | | |
| | | ERNC | | |
| Agua | Paisajismo * | Sistemas de agua potable * | | |
| | Agua incorporada | Riego * | | |
| Residuos | Manejo de residuos | | Manejo de residuos * | |
| Gestión | | | | Diseño integrado de anteproyecto |
| | | | | Gestión de la operación y mantenimiento |

Fuente: Manual de Evaluación y Calificación (IC, 2014).

El sistema de certificado se ha enfocado en cinco aspectos temáticos y sus correspondientes sub categorías, como se verifica en la Tabla 2. Para cada sub categoría es necesario cumplir con determinados requisitos, algunos obligatorios y otros voluntarios. Cada requisito alcanzado concede un puntaje parcial, que posteriormente debe ser sumado para conocer el desempeño total del edificio. El certificado es otorgado cuanto se obtiene una sumatoria mínima de 30 puntos, de los 100 totales.

La explicación de cómo aplicar los criterios y requisitos se encuentra detallada en el capítulo 2 del Manual de Evaluación y Calificación, el cual se encuentra disponible de forma pública en el sitio web de la [Certificación Edificio Sustentable](#). La verificación de cada requisito puede ser realizada de forma prescriptiva o simulada y la metodología de cálculo para su validación está detallada en el Manual.

Discusión

La investigación del material referente a los sistemas de calificación edilicia en Argentina, Brasil y Chile, permitió determinar la particularidad de cada país y con eso elaborar la **Tabla 3**, en la cual se señala las principales coincidencias y divergencias.

Se observa que la inquietud en garantizar un desempeño mínimo en los edificios de los tres países es reciente. Los sistemas de evaluación han sido implementados de manera voluntaria buscando primeramente concientizar los ciudadanos con su aplicación a los edificios públicos. En Brasil se pretende lograr que el etiquetado edilicio sea obligatorio a la brevedad.

Tabla 3: Grafico síntesis comparativo entre los sistemas de calificación edilicia Argentina, Brasil y Chile.

| Características | ARGENTINA | BRASIL | CHILE |
|---------------------------------------|---|--|--|
| | Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios | Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para edificações | Certificación Edificio Sustentable |
| Año * | 2010 | 2009 | 2014 |
| Carácter | Voluntario | Inicialmente voluntario | Voluntario |
| Responsable por la elaboración | Secretaría de Energía - Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios | Eletrobrás en conjunto con el Ministério de Minas e Energia | Instituto de la Construcción en conjunto con instituciones públicas y privadas |
| Destino | Todo edificio susceptible de ser calefaccionado, nuevos y existentes | Edificios residenciales, comerciales y públicos, nuevos y existentes | Edificios públicos, nuevos y existentes |
| Objetivo | Considerar la eficiencia energética un componente imprescindible para la política energética y la preservación del medio ambiente | Concientizar los ciudadanos; disminuir la demanda energética en Brasil y mejorar el confort interno edilicio | Alcanzar niveles adecuados de calidad ambiental interior; hacer uso eficiente de los recursos y reducir residuos y emisiones |
| Indicadores | Analiza el desempeño de la envolvente: Tau (τ); Resistencia térmica y Transmitancia térmica | Analiza el desempeño de los sistemas: Envolvente; Calentamiento de agua; Iluminación y Acondicionamiento de aire | Analiza el desempeño del edificio: Calidad del aire interior; Energía; Agua; Residuos y Gestión. |
| Cumplimiento | Sistema único: cumplir con los valores de Tau | Sistema único y parcial: cumplir con todos los requisitos de cada sistema, o con envolvente y un segundo sistema | Sistema único y parcial: cumplir con los requisitos obligatorios |
| Métodos de cálculo | Simplificado | Simplificado y simulado | Simplificado y simulado |

* Fecha en que el sistema ha entrado en vigencia. Fuente: Op. cit.

En cada sistema de calificación se analizan distintos aspectos y se otorga al edificio una etiqueta o sello representando su desempeño.

En Argentina se considera el desempeño de la envolvente mediante la variación media ponderada de temperatura entre la superficie interior de la envolvente y la temperatura interior de diseño. Para

eso requiere de los valores de resistencia y transmitancia térmica de los materiales que constituyen la envolvente.

En Brasil se analiza el desempeño de cuatro sistemas y sus criterios varían conforme el nivel de eficiencia deseado. Para cumplir con los requisitos de envolvente es necesario verificar los valores exigidos para la transmitancia térmica de cubiertas y muros externos; la absorción de las superficies con colores y materiales; y el porcentaje de aberturas y el factor solar del vidrio. El sistema de agua caliente debe poseer cañerías que cumplan con los requisitos de la normativa nacional y estar debidamente aislados térmicamente. Los reservorios de agua necesitan verificar con una resistencia térmica inferior a $2,20 [(m^2.K)/W]$. Para el sistema de iluminación el proyecto debe contemplar el aprovechamiento de la luz natural y permitir el control de las luminarias en de cada ambiente. Los sistemas de acondicionamiento deben cumplir con los niveles exigidos para eficiencia energética del equipo y los ductos de aire deben estar debidamente aislados térmicamente.

En Chile, así como en Brasil, se debe cumplir con requisitos obligatorios mínimos y según el nivel que se proponga, extenderse a demás criterios. Para la calidad de ambiente interior se requiere cumplir con valores mínimos de Factor Luz Día, una superficie mínima de ventanas, tasas mínimas de ventilación, y que los muros exteriores presenten la debida aislación acústica. El requisito energía considera los valores de transmitancia térmica de la envolvente, el factor solar del vidrio, las infiltraciones de las carpinterías y pasos de las instalaciones y la aislación térmica en los sistemas de acondicionamiento. Para el sistema de agua se exige reducir un 20% la evapotranspiración de proyecto de paisajismo, un 20% del consumo de agua potable y 20% del agua para riego. Referente al manejo de residuos el proyectista debe proponer medidas control y mitigación durante la construcción.

Para el cumplimiento de los tres sistemas de calificación, se verifica como método de cálculo un sistema simplificado, donde el profesional debe presentar junto al proyecto los cálculos que corroboren cumplir con los valores establecidos. En Brasil es posible realizar la demostración mediante una simulación numérica, permitiendo verificar el desempeño del edificio en estado dinámico. En Chile para la obtención de los créditos voluntarios se requiere la simulación para corroborar los valores obtenidos con los datos de un edificio base.

Conclusiones

Con este trabajo se analizó que de los doce países integrantes y asociados al Mercosur, tres presentan un sistema de calificación edilicia. Se examinó la normativa relacionada a certificación edilicia de Argentina, Brasil y Chile y se reflejó el enfoque y la proyección de cada país en relación al desempeño edilicio. Se definió que Argentina y Brasil poseen una calificación de eficiencia energética, mientras Chile propone un análisis del desempeño integral del edificio.

Se rescató que el etiquetado argentino no considera aspectos de ganancia solar directa, como por ejemplo la superficie vidriada, el factor de exposición solar del vidrio y la absorción de los colores, criterios considerados en la calificación edilicia brasileña y chilena. Se verificó que Brasil permite la evaluación de algunos sistemas del edificio separadamente, lo que permite que el profesional trabaje los aspectos de forma flexible. El certificado chileno propone que el edificio alcance un desempeño mínimo, cumpliendo con determinados criterios y también posibilita la ampliación a requisitos más exigentes. Se entiende que es importante evaluar el desempeño del edificio de forma integral y

flexible, trabajando distintos aspectos, con distintos niveles de exigencia. Y que la etiqueta otorgada pueda reflejar al usuario el cumplimiento o no de dichos criterios.

Este estudio sirve de base para el desarrollo de un sistema de calificación edilicia a nivel regional.

Bibliografía

- Bellen, H. M. (2015). Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. FGV.
- Bouwcentrum, C. d. (1973). Orientación de viviendas y radiación solar en la Argentina. Buenos Aires.
- Código de obras e edificações. (1992). Sao Paulo: Prefeitura do município de Sao Paulo.
- Código de ordenamiento urbano, O. 1. (2011). Consejo deliberante de La Plata,. La Plata.
- Eletrobrás. (2013). Manual para aplicacao do RTQ-C.
- EPE, E. d. (2007). Plano decenal de expansao do setor de energia elétrica 2007- 2016.
- Gomes, A. P. (2012). Método de avaliacao do desempenho térmico de edifícios comerciais em light steel framing. Ouro Preto.
- Gouveia, H. L. (2013). Indicadores de desempenho em habitacoes de interesse social no Brasil. Brasília.
- IC, I. N. (2014). Manual evaluación y calificación. Santiago.
- IRAM. (2010). Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Buenos Aires.
- Ley general de urbanismo y construcciones. (2014). Santiago: Ministerio de la vivienda y urbanismo.
- Ministerio de Planificación Federal, I. P. (2007). Decreto 140. Buenos Aires.
- MME, M. d. (2011). Plano Nacional de Eficiencia Energética.
- Roriz, M., Ghisi, E., & Lamberts, R. (1999). Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitacoes populares. Fortaleza.
- Silva da, A. T., Parisi Kern, A., Souza Kazmierczak de, C., González S., M. A., & Castro, R. (2011). Comparação entre os processos de implantação do Código Técnico das Edificações na Espanha e NBR 15.575/2008 – Desempenho no Brasil. Vitória.

Autores

Gabriela Reus Netto es arquitecta, becaria Doctoral CONICET com lugar de trabajo en el LAYHS FAU UNLP. gabi_reus@hotmail.com

Jorge Daniel Czajkowski es doctor en ingeniería y arquitecto, investigador de CONICET, profesor Titular FAU UNLP y director del LAYHS FAU UNLP. jdczajko@gmail.com

10. Modelización y simulación

Optimización de Consumo Energético de un Modelo de Diseño Paramétrico

Patricia Edith Camporeale¹, Jorge Daniel Czajkowski²

Resumen

Este trabajo está enmarcado en un proyecto de investigación más amplio sobre la optimización del diseño bioambiental paramétrico. Se determina una envolvente paramétrica eficiente, que satisfaga la ley 4458/12 de Normas de Acondicionamiento Térmico en la Construcción de Edificios de la Ciudad de Buenos Aires y las Normas IRAM 11604 (coeficiente volumétrico admisible de calefacción) y 11659/1-2 (coeficiente volumétrico admisible de refrigeración), incorporando variables bioambientales: cargas térmicas solares, de la envolvente y de la ocupación. Se aplican índices bioclimáticos de calefacción y refrigeración diseñados previamente, obteniendo diferentes alternativas edilicias de desempeño energético equivalente y configuración espacial diferenciada. Luego, se elige una alternativa y se optimiza la máxima superficie vidriada con el menor consumo energético. Se busca encontrar un equilibrio entre las ganancias y las pérdidas térmicas, al mismo tiempo que evitar el sobrecalentamiento, con la incorporación de dispositivos pasivos. Se concluye que puede considerarse válida la optimización, a través de un proceso paramétrico, porque muestra el desempeño energético de la envolvente en tiempo real. De esta manera, disminuyen los costos en horas de trabajo del diseñador.

Palabras clave: índices bioambientales- optimización consumo energético.

Energy Consumption Optimization of a Parametric Design Model

Abstract

This paper is part of a wider work on energy consumption optimization in parametric bioclimatic design. First, we determine an efficient parametric envelope, which fulfills Law 4458/12 on *Thermal Conditioning Standards for Buildings in Buenos Aires City*. The envelope also satisfies IRAM 11604 *Standard on Admissible Volumetric Coefficient in Heating* and IRAM 11659/1 -2 *Standard on Admissible Volumetric in Cooling*, while adding bioclimatic variables: solar, occupancy and envelope thermal loads. We apply bioclimatic indexes in heating and cooling, which have been previously designed. We obtain building alternatives with equivalent energy-performance but different

^{1 y 2} Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LayHS FAU UNLP). Calle 47 N°162 CC 478 – B1900GGD La Plata, Buenos Aires, Argentina. Tel/fax: +54-221-423-6587 interno 255. e-mail: layhs@fau.unlp.edu.ar

morphology. Then, we choose an alternative and optimize maximum fenestration with minimum energy consumption. We look for equilibrium between solar gains, thermal losses, as long as we avoid overheating by means of passive devices. We can conclude that parameterization allows control energy performance of the envelope in real time, lowering costs on designer hours.

Keywords: bioclimatic indexes- energy consumption optimization

Introducción

La demanda de energía en las ciudades— que se expanden con la migración de la población rural— no deja de incrementarse, aumentando las emisiones gases de efecto invernadero (GEI), que provocan el Cambio Climático. Sabemos que los edificios consumen más de un tercio de la energía primaria generada en nuestro país (BEN 2013), por lo cual, es imprescindible incorporar el concepto de eficiencia energética desde el proceso de diseño arquitectónico.

El diseño paramétrico se ha introducido en la disciplina para revolucionar la proyectación arquitectónica (Terzidis, 2006). Mediante la parametrización, se pueden aplicar herramientas digitales en un proceso transparente y en tiempo real (Leach, 2004). Junto con estas características, se incorpora la materialidad edilicia, lo cual nos permite, a su vez, evaluar la performance energética del mismo. El diseño bioambiental paramétrico es el que aúna la parametrización con la sostenibilidad, poniendo el énfasis en la eficiencia energética (Peronato, 2015).

Esta herramienta es un aporte para las primeras instancias del proyecto, cuando se toman aquellas decisiones que influirán a lo largo de todo su desarrollo: desde el proyecto, pasando por la construcción hasta el fin de la vida útil del edificio. En la etapa de operación y mantenimiento del edificio es cuando se registran los mayores gastos en acondicionamiento térmico.

En este trabajo, hemos desarrollado un edificio en altura de usos variados. Esta tipología es frecuente en la praxis profesional. Se pretende generar una reflexión en el campo de la investigación proyectual a través del uso de herramientas digitales que evalúan la performance energética, al mismo tiempo que su morfología y materialidad (Iqbal, 2006).

Metodología

Se parametriza un edificio en altura de oficinas, vivienda y uso mixto, dividido en tres volúmenes de diferente altura, agrupados en una morfología integrada (Tabla 1).

Tabla 1. Usos y áreas.

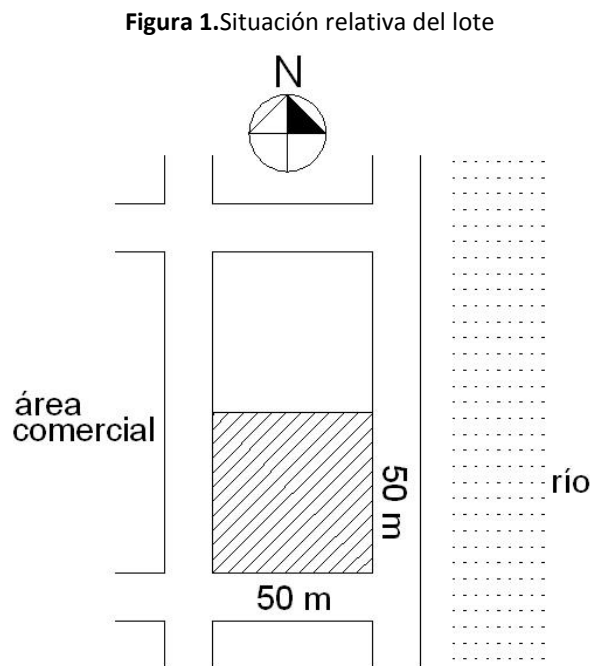
| Usos | nº plantas | superficie por planta | H planta | H volumen |
|------------|------------|-----------------------|----------|-----------|
| | u | m ² | m | m |
| vivienda | 10 | 300 | 2,75 | 27,5 |
| oficina | 20 | 250 | 2,75 | 55 |
| mixto | 15 | 250 | 2,75 | 41,25 |
| sup. total | | 11750 | | |

Fuente: los autores

Está situado en un terreno urbano de 50m x 50m rodeado de 3 calles con orientación Norte y costa de río sobre el lado Este. La zona bioambiental correspondiente es la IIIb (templado cálido húmedo) del área metropolitana de Buenos Aires (AMBA) (IRAM 11603) (Figura1).

Luego de definida la ubicación del lote, se aplican las restricciones previstas por el Código Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires, respetando la ocupación del terreno (60% sup. parcela), el máximo volumen construible de la parcela (470% de la sup. parcela) y los retiros perimetrales de 3m y de fondo de 5m.

Con esta información, se definen paramétricamente los volúmenes que componen el edificio, el porcentaje de superficie vidriada por fachada y la materialidad de la envolvente (Figura 2), a través del programa de modelado en 3D, Rhinoceros 5[®], y su plug-in de diseño paramétrico Grasshopper[®].



Fuente: los autores

La envolvente cumple con las normas IRAM de confort higrotérmico 11507-4 y 11605. El muro desde el exterior hacia el interior se compone de 0,025m de poliestireno expandido revocado con muro de ladrillo hueco de 0,18m y terminación interior en yeso, las cubiertas constan de una membrana asfáltica de aluminio con 0,03m de espuma de poliuretano in situ, losa alivianada de hormigón pretensado con bloques de poliestireno expandido y cielorraso suspendido de yeso (Camporeale et al, 2015). Las ventanas son de doble vidriado hermético de 6 mm con cámara de aire de 12mm con marco de aluminio y ruptura de puente térmico. El factor de protección solar es de 0,35. La transmitancia térmica de los elementos que componen la envolvente puede observarse en la Tabla 2.

Las superficies vidriadas se distribuyen de la siguiente manera:

- Norte: 50%
- Sur: 10%
- Este: 40%

- Oeste: 30%

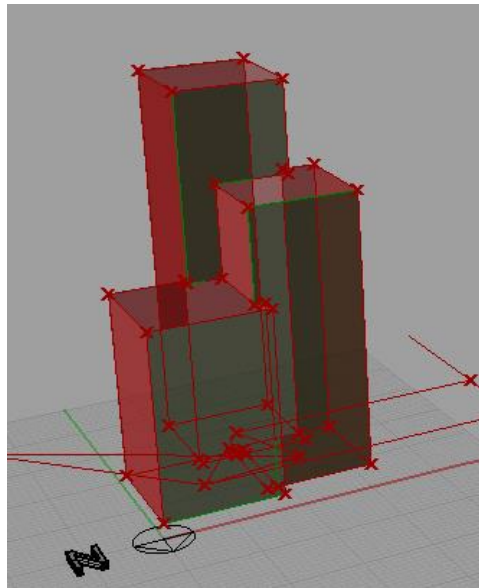
Tabla 2. Transmitancia térmica de la envolvente

| K | proyecto | adm. nivel B |
|---------------------------|-------------------------|--------------|
| muros (invierno y verano) | 0,71 W/m ² K | 1/1,25 |
| cubiertas (invierno) | 0.51 W/m ² K | 0,83 |
| cubiertas (verano) | 0.46 W/m ² K | 0,83 |
| K ventanas | 2.61 W/m ² K | 4 |
| K piso | 1,08 W/mK | noaplic. |

Fuente: los autores

A continuación, ingresamos los coeficientes de temperatura horaria (Gonzalo, 1998), la máxima y la mínima y el programa calcula las temperaturas horarias para un día típico de invierno y otro de verano. Las temperaturas máximas y mínimas se obtienen del promedio ponderado de los meses de julio y enero de los años 2009 a 2012 inclusive, de datos recabados por la estación meteorológica que nuestro laboratorio posee en la localidad de Gonnet, partido de La Plata. Para el cálculo de consumo energético, utilizamos la temperatura sol-aire a los efectos de considerar la incidencia de la radiación solar sobre la envolvente. Calculamos a través de nuestro programa, asimismo, la infiltración del aire en las carpinterías, con un incremento de la velocidad media del viento 3,9m/s a 10 m de altura) proporcional a la altura del edificio (IRAM 11603).

Figura 2. Volumen edilicio paramétrico



Fuente: los autores

Con estos datos (envolvente, temperaturas, radiación solar, infiltración), confeccionamos los índices de consumo energético B_{cal} (Ec. 1) y B_{ref} (Ec. 2) en W/m³.día, basados en la fórmula de G_{ref} (IRAM 11659 1-2)

$$B_{cal} = \frac{1}{V} \cdot \sum_{i=1}^n (Q'_c + Q'_a - Q'_s - Q'_o) \quad (1)$$

siendo:

Q'_c = pérdidas térmicas por conducción de la envolvente: muros, ventanas, cubiertas (W):

Q'_a = pérdidas térmicas por infiltración (W) en ventanas:

Q'_s = ganancias solares a través de las ventanas (W)

Q'_o = ganancias internas por ocupación y equipamiento (W)

y

$$B_{ref} = \frac{1}{V} \cdot \sum Q'_c + Q'_a + Q'_s + Q'_o \quad (2)$$

siendo:

Q'_c = ganancias térmicas por conducción de la envolvente: muros, ventanas y cubiertas(W)

Q'_a = ganancias térmicas por infiltración en ventanas(W)

Q'_s = ganancias solares a través de las ventanas (W)

Q'_o = ganancias internas por ocupación y equipamiento (W)

Luego el programa itera mediante un algoritmo genético (AG) provisto por Grasshopper®: Galapagos, (Mitchell, 1998). El AG busca dentro de una población de soluciones morfológicas posibles (Goldberg, 1997) minimizando el consumo energético de verano (B_{ref}) que es sustancialmente superior al de invierno (B_{cal}) para la zona bioambiental donde se realiza el experimento.

Esta optimización de la morfología edilicia para minimizar B_{ref} , se realiza con un factor solar de 0,35. Calculamos asimismo B_{cal} para la hora 14, con el objeto de investigar si existe sobrecalentamiento. Tomamos luego la alternativa morfológica 1 y, manteniendo el valor de B_{ref} obtenido, iteramos con el AG, no ya sobre la morfología, sino sobre los porcentajes de elementos vidriados en cada fachada, incrementando el factor solar a 0,10. Para alcanzar nuestro objetivo, mejoramos los dispositivos de protección solar, colocando cortinas venecianas externas de aluminio, con un factor de protección solar (F_s) igual a 0.10, proporcionado por el fabricante³.

Resultados

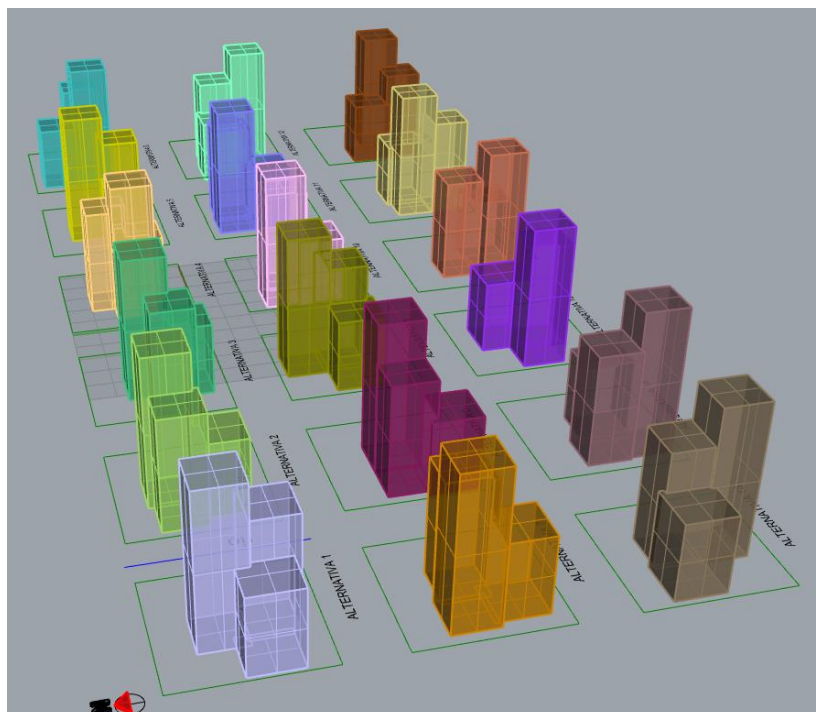
Una vez finalizada la carga de datos parametrizados, se corre el algoritmo genético hasta obtener soluciones edilicias optimizadas. Las dieciocho alternativas edilicias de mejor desempeño energético se muestran en la Figura 3. Seleccionamos aquellas con menor consumo para verano, siendo este último muy superior al de invierno (el consumo para calefacción es muy inferior cuando se tiene una envolvente bastante eficiente). La superficie de la envolvente de cada alternativa tienen una variación del 23.4%, dependiendo de cada configuración. Otro tanto ocurre con la superficie cubierta de las alternativas, que presentan una variación del 6.5%, y con el volumen efectivo, cuya variación es 11.65% (Tabla 3).

Los consumos de cada alternativa se expresan en la Tabla 3, donde se muestra el consumo para un día típico de verano y uno de invierno, la superficie de la envolvente, la superficie cubierta y el

³ <http://www.hunterdouglas.com/horizontal-blinds/natural-elements>

volumen efectivo de cada alternativa. Es notable la diferencia entre ambos consumos, calefacción y refrigeración, ya que la envolvente eficiente cubre gran parte de la demanda de energía para calefacción.

Figura 3. Vista NO de las alternativas obtenidas



Fuente: los autores

Tabla 3. Índices B_{cal} y B_{ref}

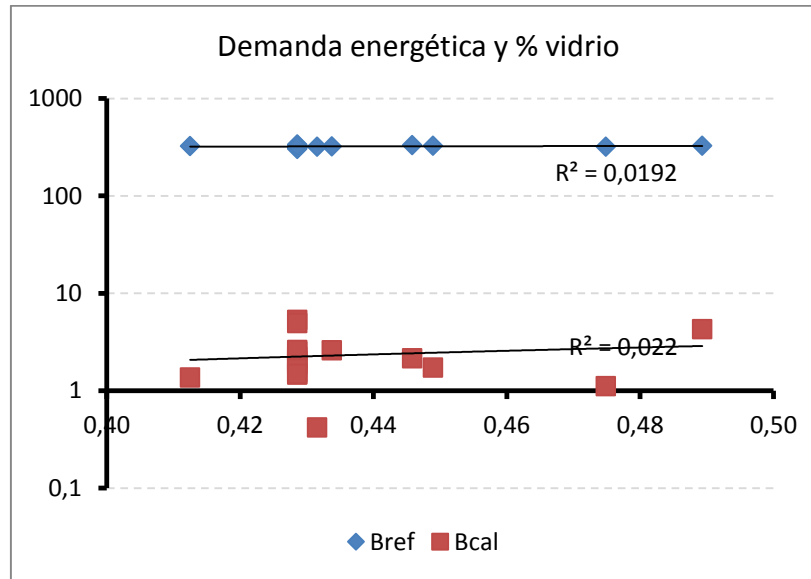
| alternativa. | sup. envolvente | sup. cubierta edificio | vol. efect. edificio | B_{ref} | B_{cal} | % vidrio/opaco |
|--------------|-----------------|------------------------|----------------------|-------------|-------------|----------------|
| | m^2 | m^2 | m^3 | $W/m^3.dia$ | $W/m^3.dia$ | |
| 1 | 4689,76 | 11046,15 | 27615,37 | 326,83 | 4,3 | 0,49 |
| 2 | 5554,98 | 10872,18 | 27180,45 | 315,06 | 1,96 | 0,43 |
| 3 | 5637,48 | 10816,53 | 27041,34 | 322,91 | 2,52 | 0,43 |
| 4 | 5431,5 | 10159,38 | 25638,46 | 338,06 | 1,47 | 0,43 |
| 5 | 5789,02 | 11449,85 | 28624,63 | 326,83 | 5,35 | 0,43 |
| 6 | 5417,47 | 10579,35 | 26448,38 | 321,65 | 1,56 | 0,43 |
| 7 | 5554,98 | 10992,18 | 27480,46 | 311,69 | 2,06 | 0,43 |
| 8 | 5678,98 | 11183,81 | 27959,52 | 303,88 | 1,85 | 0,43 |
| 9 | 5623,98 | 10968,15 | 27420,37 | 333,62 | 4,96 | 0,43 |
| 10 | 5651,5 | 10967,02 | 27417,55 | 314,7 | 2,24 | 0,43 |
| 11 | 5445,02 | 10808,5 | 27021,25 | 312,79 | 1,49 | 0,43 |
| 12 | 5706,499 | 11320,32 | 28300,79 | 326,14 | 2,62 | 0,43 |
| 13 | 5445,02 | 11088,15 | 27720,37 | 326,73 | 1,73 | 0,45 |
| 14 | 5706,499 | 11059,64 | 27649,1 | 325,21 | 1,37 | 0,41 |
| 15 | 5445,02 | 11225,51 | 28063,78 | 319,72 | 1,12 | 0,47 |
| 16 | 5706,499 | 11439,39 | 28598,47 | 323,9 | 2,6 | 0,43 |
| 17 | 5445,02 | 11009 | 27522,5 | 332,56 | 2,16 | 0,45 |
| 18 | 5706,499 | 11071,56 | 27678,89 | 320,08 | 0,42 | 0,43 |

Fuente: los autores

Comparando la incidencia de la relación porcentual vidrio/muro y los coeficientes B_{cal} y B_{ref} de las alternativas obtenidas, obtenemos la dispersión que se muestra en la Figura 4

Podemos inferir que no existe una correlación lineal entre el incremento de la relación vidriado/opaco y los índices B_{cal} y B_{ref} . Obtenemos diferentes configuraciones edilicias que mantienen un nivel de consumo energético equivalente, no afectado por la variación del porcentaje de vidrio en las fachadas —entre 43% y 49%— sino por la configuración geométrica de la forma edilicia.

Figura 4. Relación % vidrio/ B_{cal} y B_{ref} para las 18 alternativas



Fuente: los autores

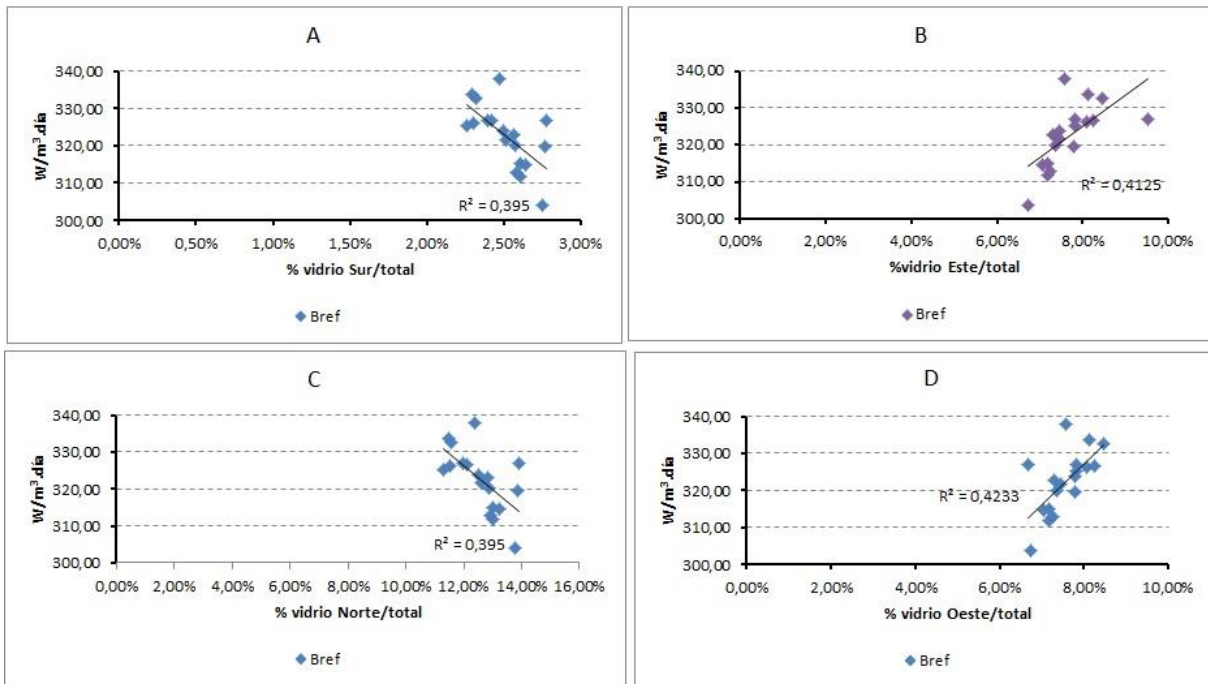
Se analiza la relación entre el porcentaje de vidrio para cada orientación respecto del total de la envolvente a fin de determinar su impacto en las cargas térmicas de calefacción y refrigeración. Cuando observamos la relación con B_{ref} , (Figura 5) podemos observar que existe una mayor dependencia entre el incremento de la superficie vidriada al Oeste y el aumento del B_{ref} , le sigue la orientación Este, pero no ocurre lo mismo para las orientaciones Norte y Sur. Esto ratifica la recomendación de contar con protección solar al Oeste (IRAM 11603).

Cuando relacionamos la misma variables con el índice B_{cal} , observamos una incidencia débil del vidriado para la fachada Este. Las demás orientaciones no muestran una relación entre superficies vidriadas y consumo energético (Figura 6).

Al no existir una relación fuerte respecto de una orientación, decidimos operar sobre los cerramientos de todas las orientaciones —limitándonos a la alternativa 1— y buscando que el AG incremente la superficie vidriada sin incrementar el consumo energético.

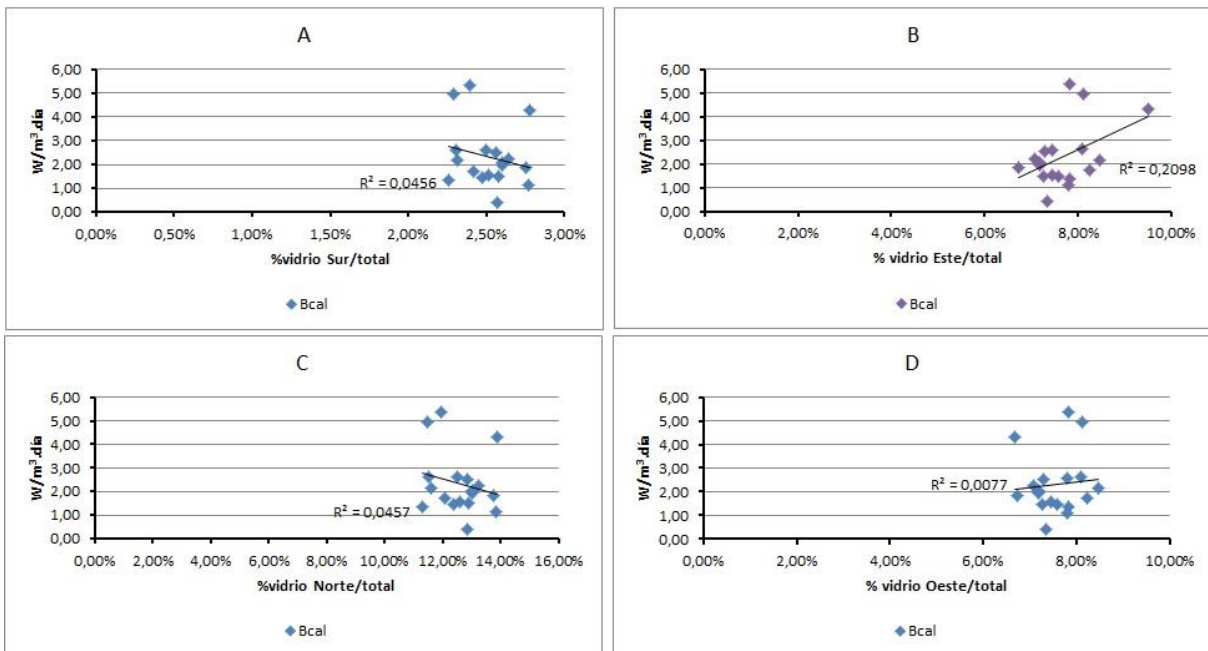
Para alcanzar nuestro objetivo, habíamos mejorado los dispositivos de protección solar, con cortinas venecianas externas de aluminio, con un factor de protección solar (F_s) igual a 0.10. De la observación de la Tabla 4, deducimos que el B_{cal} negativo nos está indicando que existe un exceso de calor que provocaría sobrecalentamiento y provocaría el encendido del equipo de refrigeración en la hora 14. Esto es válido para las dieciocho alternativas iniciales.

Figura 5. Relación entre el índice B_{ref} y las superficies vidriadas por fachada



Fuente: los autores

Figura 6. Relación entre el índice B_{cal} y las superficies vidriadas por fachadas



Fuente: los autores

Iteramos con el AG aplicado a los porcentajes de vidrio de todas las fachadas, manteniendo fija la morfología (alternativa 1) y aumentando el F_s de 0,35 a 0,1. El B_{ref} se mantiene por debajo del correspondiente a la alternativa 1. Obtenemos alternativas con mayor superficie de elementos vidriados, y conseguimos una disminución del sobrecalentamiento en la hora 14 para el día típico de invierno (Tabla 5), disminuyendo asimismo el consumo de energía en verano. La disminución de la ganancia solar en invierno provoca un incremento del consumo en calefacción, pero aún así, se mantiene muy por debajo del de refrigeración. El aumento del consumo de calefacción, se

contrarresta con un ahorro del equipo de refrigeración que debía encenderse para recuperar la temperatura de confort (25°C) (Tabla 5).

La mayor aislación de los cerramientos redonda en un mejor desempeño energético ya que disminuye la brecha entre la transmitancia de los elementos opacos y los vidriados.

Tabla 4. Consumo energético en la hora pico solar para un día típico de invierno

| Alternativas | B _{cal} hora 14 |
|--------------|--------------------------|
| | W |
| 1 | -8,26 |
| 2 | -8,58 |
| 3 | -8,72 |
| 4 | -8,87 |
| 5 | -8,30 |
| 6 | -8,53 |
| 7 | -8,48 |
| 8 | -8,64 |
| 9 | -8,34 |
| 10 | -8,68 |
| 11 | -8,44 |
| 12 | -8,18 |
| 13 | -8,26 |
| 14 | -8,17 |
| 15 | -8,68 |
| 16 | -8,42 |
| 17 | -8,22 |
| 18 | -8,62 |

Fuente: los autores

Tabla 5. Optimización de la superficie vidriada de la alternativa 1

| Alternativa | F _s | B _{cal} | B _{cal} hora14 | B _{ref} | %vid N | %vid S | %vid E | %vid O | %vid/envolvente | %vid/op. |
|-------------|----------------|------------------|-------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|----------|
| 1 | 0,35 | 4,3 | -8,26 | 326,83 | 50 | 10 | 40 | 30 | 0,32 | 0,49 |
| 1.1 | 0,1 | 73,03 | 0,35 | 13,85 | 50 | 10 | 40 | 30 | 0,32 | 0,49 |
| 1.2 | 0,1 | 156,55 | 1,08 | 327,14 | 60 | 87 | 41 | 56 | 0,62 | 1,63 |
| 1.3 | 0,1 | 170,83 | 1,84 | 315,02 | 75 | 69 | 49 | 64 | 0,65 | 1,86 |
| 1.4 | 0,1 | 205,9 | 2,67 | 315,04 | 91 | 35 | 87 | 89 | 0,74 | 2,85 |
| 1.5 | 0,1 | 160,22 | 1,33 | 316,69 | 71 | 54 | 38 | 81 | 0,61 | 1,56 |
| 1.6 | 0,1 | 223,54 | 3,94 | 317,57 | 100 | 94 | 94 | 33 | 0,82 | 4,56 |

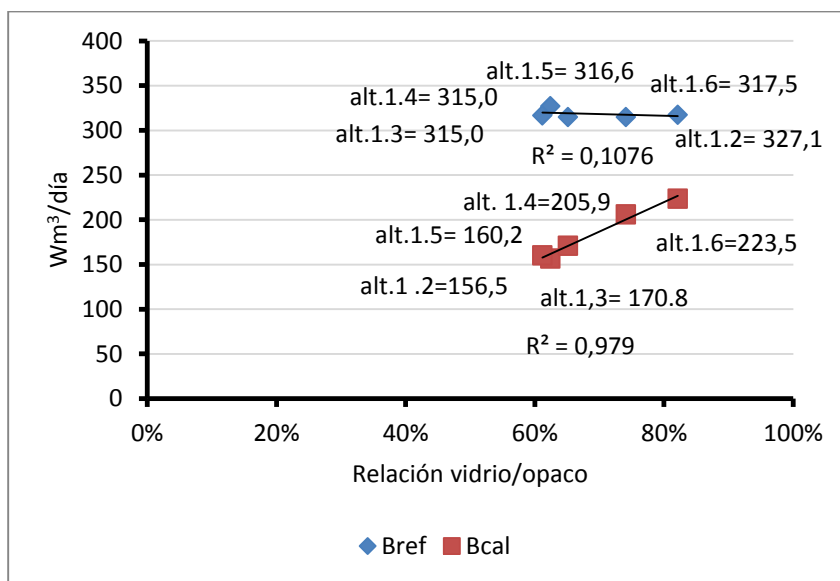
Fuente: los autores

Al relacionar los datos de B_{cal}, B_{ref} con los porcentajes de superficies vidriadas respecto de las superficies opacas, encontramos que existe una correlación positiva para la condición de invierno (Figura 7). No sucede lo mismo con la condición de verano donde a igual demanda, corresponden notables variaciones en el porcentaje de superficies vidriadas de las alternativas 1.2 a 1.6. Esto se

debe a que el AG estuvo condicionado en mantener el B_{ref} pero buscó alternativas de mayor superficie vidriada en la orientación Sur, donde pasó de un 10% hasta un 94%. Esto puede observarse claramente para la alternativa 1.6 donde se incrementó la superficie vidriada al Norte: de 50% a 100%, al Sur: de 10% a 94%, al Este: de 40% a 94% pero se mantuvo la fachada Oeste: de 30% a 33%. Se pasó así de tener un 32% de vidrio/opaco a un 82% de vidrio/opaco, con una demanda similar en verano, aumentando sólo la protección solar. Las otras alternativas permiten observar cómo se fueron balanceando los incrementos de vidriado en todas las orientaciones, entre 71% y 84%. Los rangos de porcentaje de vidrio se ampliaron para todas las orientaciones de 0% a 100%, mientras que en las alternativas iniciales se encontraban fijos en 50%N, 40%E, 10%S y 30% O. Esto permitió que el AG ampliara su espacio de búsqueda y combinara todas las orientaciones entre 61% y 82% de relación vidriado/opaco. Al incrementar el vidriado al Sur, aumentaron las pérdidas en invierno. Los porcentajes iniciales estaban orientados a una minimización de las pérdidas de invierno, de acuerdo a lo recomendado por la norma IRAM 11603, en cambio, las alternativas obtenidas con el AG, no están restringidas por esas recomendaciones.

En el gráfico de la figura 7, no se considera la alternativa 1.1— que difiere de la alternativa 1 en la aislación de las ventanas pero mantiene idénticos porcentajes de superficie vidriada—debido a la consecuente y abrupta disminución de B_{ref} ($13,5 \text{ W/m}^3\text{día}$ invierno).

Figura 7. Relación $B_{cal}-B_{ref}$ y % vidrio/opaco



Fuente: los autores

Cabe señalar que, si se simulase la intervención del usuario en el accionamiento de las cortinas, podrían obtenerse consumos de calefacción muy inferiores al aprovechar la ganancia solar durante el día.

Conclusiones

Los resultados del trabajo muestran que las decisiones proyectuales pueden ser contrarias a la intuición, ya que los resultados de los índices de demanda energética exhiben alternativas no previstas. La complejidad de la performance energética muestra que no existe linealidad entre las

estrategias de proyecto y las demandas energéticas, en la instancia de la modelización. No puede contrastarse con casos reales, al tratarse de una simulación.

Los modelos paramétricos permiten la evaluación del desempeño energético de formas edilicias en tiempo real. Los rangos de datos de entrada son regulados manualmente por el diseñador u optimizados mediante el uso de algoritmos genéticos. En este caso, utilizamos el factor solar como variable, pero podríamos haber iterado sobre cualquier otro *input* de nuestro interés (infiltración, materialidad de la envolvente, ocupación, costos, etc.). Para disminuir la demanda energética de calefacción y refrigeración, utilizamos la opción de incrementar la aislación térmica de las aberturas, sin aumentar la aislación de los muros.

Los índices bioclimáticos de calefacción B_{cal} y refrigeración B_{ref} muestran el desempeño energético para días típicos de invierno y verano respectivamente, en estado estacionario. Su aporte es la incorporación de las ganancias solares, las ganancias internas, la determinación de la infiltración a partir de datos climáticos, y la permeabilidad de ventanas y su grado de exposición al viento para la condición de invierno— mediante el cómputo horario del consumo de energía— para ambas situaciones. Una evolución lógica es incorporar las variables costo y emisiones GEI.

Esta herramienta ofrece un desarrollo muy amplio para la incorporación de variables y su optimización en el campo del diseño arquitectónico energéticamente eficiente para la mitigación del Cambio Climático. Muestra su valor como herramienta de pre-proyecto sustentable.

Bibliografía

- BEN Balance Energético Nacional, Ministerio de Economía de la República Argentina
<http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>
- Camporeale, P., 2012, El uso de algoritmos genéticos en el diseño paramétrico de edificios energéticamente eficientes: el coeficiente G y el consumo anual de energía, Actas del XII Congreso Iberoamericano de Energía Solar (CIES), Vigo, España
- Camporeale, P. y Czajkowski, J.(2015) Índice Bioambiental de Consumo Energético en Edificios aplicado a un Modelo de Diseño Paramétrico- Actas del II Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes- 25 al 27 de mayo-de 2015- págs. 629 y ss. ISBN 978-84-617-3964-6.Sevilla- España
- Goldberg, D., (1997), 'Some applications of Genetic Algorithms' in 'Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning', Addison-Wesley, MA, USA, pp. 88-145.
- Gonzalo, G. E., (1998). Manual de arquitectura bioclimática. Tucumán: Edición del autor.
- Iqbal, Imran et als (2007) Parametric analysis of alternative energy conservation measures in an office building in hot and humid climate Building and Environment, Volume 42, Issue 5, May 2007, Pages 2166-2177
- Leach, N etals, (2004), 'Design by Algorithm' in 'Digital tectonics', Wiley-Academy, UK, pp. 79-87.
- Mitchell, M. (1998), 'Implementing a genetic algorithm' in 'An Introduction to Genetic Algorithms', The MIT Press, MA, USA, pp. 154-179

- Norma IRAM 11507-4 (2012) Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores Parte 4.Requisitos complementarios. Aislación térmica. . Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11601:(2002). Aislamiento térmico de edificios, métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11603(1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11604 (2001): Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites- Instituto Argentino de Normalización y Certificación- 2° ed.-Buenos Aires
- Norma IRAM 11605 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11659 1 y 2-(2004) Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: Vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica de refrigeración- Parte 2: Edificios para viviendas- Instituto Argentino de Normalización y Certificación-Buenos Aires
- Peronato, g. etals. (2015),*A parametric design based methodology to visualize building performance at the neighborhood scale*- Infoscience- Écolepolytechniquefédérale de Lausanne EPFL
- Sadineni,Suresh B.,Madala Srikanth, Boehm Robert F.- (2011) *Passive building energy savings: A review of building envelope components*- Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 3617–3631
- Terzidis, K. (2006). *Algorithmic Architecture*. Oxford: Architectural Press.
- Russell, S. et al, (2010), *Beyond classical search* in Artificial Intelligence, A Modern Approach, 3rd ed., Prentice-Hall Pearson Education Inc., NJ, USA, pp. 125-128.

Potencial de las Herramientas de Simulación para la Planificación Sustentable del Desarrollo Urbano.

Noelia L. Alchapar¹, Erica N. Correa²

Resumen

El uso de métodos numéricos como herramienta de diseño y planificación urbano/ambiental tiene ventajas sobre las mediciones exhaustivas de campo: versatilidad en el tratamiento de múltiples variables y procesos atmosféricos. Para cuantificar las capacidades de dichos modelos en el pronóstico microclimático urbano se monitoreó térmicamente una zona de gran potencialidad para la rehabilitación urbana del Área Metropolitana de Mendoza. Sobre éste recorte se simularon 12 escenarios que modifican su configuración morfológica y material -densidad edilicia, porcentajes de vegetación y materiales-. La investigación revela las capacidades y ventajas de trabajar con el software "ENVI-met 3.1" como instrumento de planificación urbana sustentable. El alto grado de ajuste de la temperatura de aire de las curvas diarias medidas en comparación con las curvas simuladas apoya la fiabilidad de los resultados predictivos en relación con el comportamiento térmico urbano tanto para el día como durante la noche.

Palabras clave: planificación sustentable; pronóstico microclimático urbano; ENVI-met 3.1 software.

Simulation Tools Potential for Sustainable Planning Urban Development.

Abstract

The use of numerical methods as a tool for design and urban / environmental planning has advantages over the exhausted field measurements: versatility in treating multiple variables and atmospheric processes. To quantify the capabilities of these models in the urban microclimate forecast, an area of great potential for urban rehabilitation of Greater Mendoza was thermally monitored. In this area were simulated 18 scenarios that modify morphological and material configuration -building density, vegetation percentages and materials-. This research reveals the capabilities and advantages of working with the "ENVI-met 3.1" software as a tool for sustainable urban planning. The high degree of adjustment of the air temperature curves measured daily

¹ y ² Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE). Centro Científico y Tecnológico de Mendoza CCT-Mendoza. CONICET. Av. Ruiz Leal s/n. Parque General San Martín. Ciudad. C.C.131 C.P. 5500. Mendoza, Argentina. Tel. +54 261-5244322. Fax : +54 261-4287370. e-mail: nalchapar@mendoza-conicet. gob.ar.

compared with simulated curves supports the reliability of the predictive results regarding urban thermal behavior for both day and overnight.

Keywords: sustainable planning; urban microclimate forecast; ENVI -Met software.

Introducción

El uso de métodos numéricos para el pronóstico del clima urbano posee una clara ventaja sobre mediciones exhaustivas de campo: la versatilidad en el tratamiento de múltiples variables y procesos atmosféricos. Lo que explica la gran difusión de las simulaciones como herramientas de análisis (Arnfield, 2003).

En un principio los modelos climáticos urbanos se pueden clasificar de acuerdo a su escala, desde kilómetros a pocos centímetros. Por lo general, los modelos desarrollados para fines climáticos urbanos utilizan una menor resolución espacial (Masson, 2000). Estos programas son probablemente más adecuados para temas de planificación urbana -escala mayor a 1/5.000- que para problemas de diseño urbano.

Los modelos de microclima urbano varían sustancialmente en función de su base física y su resolución espacio/temporal. En la micro escala, el flujo de viento en tres dimensiones (3D) es el modelo mejor fundamentado (Johnsson & Hunter, 1995), mientras que los modelos que incluyen todos los procesos térmicos y energéticos hidrológicos son muy pocos, entre otras cosas porque consumen mucho tiempo de procesamiento. Tales modelos son simplificados suponiendo varias parametrizaciones y limitaciones con el fin de ahorrar tiempo y resolver problemas relacionados con las variables complejas de determinar. Por lo general, estos modelos utilizan esquemas de turbulencia simplificados (Mills, 1993; Arnfield, 2003). Los modelos de cañón urbano son también ejemplos típicos de cálculos en 2D en lugar de 3D, determinando los flujos de energía mediante suposiciones de configuraciones predefinidas de calles, formas y alturas edilicias uniformes, superficies de suelo secas, sin almacenamiento de calor en la estructura edilicia, y sin vegetación –es decir, sin calor latente-(Herbert et al., 1998).

Por otra parte, los modelos que combinan el modelado en 3D y el modelado de flujo de energía en 2D son más rápidos y más exactos (Arnfield et al., 1998). Otros modelos son más empíricos y se basan en ecuaciones derivadas de numerosos datos medidos disponibles, se realizan en un contexto específico, por ejemplo el modelo CTTC (Swaid & Hoffman, 1990; Shashua -Bar & Hoffman, 2000). Para el caso particular de Mendoza el modelo IZA (Ruiz et al., 2014) o el modelo de temperaturas propuesto por Ruiz y otros (2015).

Muchos de estos modelos trabajan con el volumen de cañón urbano como un conjunto, es decir, que todos los cálculos se realizan para un punto en el nivel de la calle y las diferencias espaciales dentro del cañón no se consideran. Por otro lado, los modelos basados en CAD tratan de reproducir con precisión las escenas urbanas en 3D. Dado que estos modelos están especialmente dedicados a los diseñadores (Teller & Azar, 2001; Asawa et al., 2004) evalúan la interdependencia entre el aire interior y exterior en términos de disponibilidad de luz solar en las superficies urbanas, por ejemplo, SOLENE (Groleau & Miguet, 1998). Se focalizan en el cálculo de las temperaturas superficiales y temperatura radiante. Sin embargo, la mayor parte de los datos meteorológicos -velocidad del viento, temperatura de aire, etc.- son variables conocidas.

Son muy pocos los modelos de microclima que evalúan el confort térmico resultante de los cambios del microclima urbano (Teller & Azar, 2001; Asawa et al., 2004). Esto se debe principalmente a la dificultad de determinar los flujos radiativos de zonas urbanas complejas sobre un cuerpo. El tema del modelado exterior del confort térmico es así a menudo calculado con métodos simplificados y promediados, dónde se eliminan muchos de los procesos atmosféricos. Estos datos son ingresados por el usuario, lo que hace dificultosa la disponibilidad de todas las variables necesarias (por ejemplo, los datos diarios de velocidad de viento, temperatura de aire, humedad relativa). El confort térmico en el modelo TOWNSCOPE (Teller & Azar, 2001) es calculado sobre una base diaria, asumiendo una media diaria de temperatura de aire (T_a), velocidad de viento (v) y humedad relativa (HR) que debe permanecer constante durante la simulación.

Por último, un aspecto decisivo en la elección de un modelo es la cantidad de datos de salida. La información resultante puede variar desde un único dato, como es el caso de la temperatura de aire (Swaid & Hoffman, 1990), a una descripción detallada microclimática, como es el caso del modelo ENVI-met (Bruse, 1999). Metodológicamente, ENVI-met 3.1 es una herramienta adecuada para pronosticar los cambios microclimáticos de los entornos urbanos y evaluar el confort térmico de los peatones. En efecto, el modelo tiene una base física sólida y bien fundamentada y ofrece muchas ventajas en comparación con otros modelos de microclima urbano disponibles (Arnfield, 2003). Esto se debe a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de la entrada de sólo un conjunto de variables de borde descriptivas del tipo de clima donde se implanta la ciudad u disponibles a partir de datos de estaciones meteorológicas de meso-escala. Por estas razones en la presente investigación se analiza el potencial de éste software.

Objetivo

Evaluar las capacidades en el pronóstico microclimático del simulador urbano ENVI-met 3.1, mediante el ajuste de los datos simulados con los medidos en un día de referencia y la evaluación de sensibilidad al modificar parámetros morfológicos y materiales (densidad edilicia, porcentaje de vegetación, albedo de superficies materiales).

Características de ENVI-met 3.1

ENVI-met es un programa de acceso gratuito, desarrollado por Michael Bruse en el Instituto de Geografía de la Universidad de Mainz - Alemania. Es un modelo computacional tridimensional que trabaja a escala de microclima urbano, diseñado para simular las interacciones entre el aire y la superficie del entorno urbano con una resolución típica de 0,5 a 10 metros en el espacio y cada 10 segundos en tiempo. ENVI-met está basado en las leyes fundamentales de la dinámica de fluidos y la termodinámica. El modelo incluye la simulación de: flujos alrededor y entre edificios; procesos de intercambio de calor y vapor de las superficies de suelo y paredes; turbulencia; parámetros de la vegetación; bioclimatología; y dispersión de contaminantes (Bruse, 2006).

El uso de esta herramienta está ampliamente validada a nivel internacional (Soo-Gon Han, 2007; Samaali, 2007; Acero, 2010; Krüger et al., 2011; Chowa & Brazel, 2012; Perini & Magliocco, 2014; Taleghani et al., 2015; Tanhuanpää et al., 2015) pero en nuestro país -Argentina- su desarrollo es aún incipiente (Alchapar 2015).

El esquema de construcción de ENVI-met se compone de un modelo núcleo de tres dimensiones -3D- (que incluye sub-modelos: atmosféricos, de vegetación y suelo), y un modelo de bordes en una

dimensión -1D-. La tarea del modelo en 3D es simular todos los procesos dentro del modelo que contiene el área actual (área de análisis). El límite horizontal superior y el límite vertical a barlovento actúan como una interfaz entre el modelo de 1D y el modelo central en 3D. El modelo 1D extiende el área simulada hasta una altura de 2.500 metros (es decir, con una profundidad media de una capa límite) y transfiere todos los valores iniciales al límite superior del volumen correspondiente al modelo en 3D de la simulación en curso.

El área núcleo a simular es un volumen en tres dimensiones (X, Y, Z) representado gráficamente mediante " n " módulos dentro de una grilla. La dimensión Z está determinada por la altura máximo (h_{max}) de los elementos urbanos dentro del modelo ($Z \geq 2 * h_{max}$). Cada módulo ($\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$) puede ser parte de un edificio, de la vegetación, o de un espacio abierto (por ejemplo, la calle). A nivel de calle, la primera grilla se divide verticalmente en cinco partes iguales con el fin de registrar detalladamente el microclima cercano a la superficie.

El modelo de suelo suministra al sistema las temperaturas y humedades superficiales. El modelo de suelo es 1D, excepto las grillas de la superficie de la tierra que están conectadas en 3D para asegurar la homogeneidad. Las grillas de anidación conforman una "zona de amortiguación", que actualizan los valores iniciales de las variables en el borde del área del núcleo del modelo 3D, con el fin de evitar perturbaciones numéricas, es decir efectos de frontera. Las grillas de anidación también ajustan el perfil inicial de viento en el modelo 1D de borde, de modo que el perfil de viento en 3D dentro del modelo central sea representativa. La zona de anidación se extiende por lo menos al doble de los obstáculos más altos en el área del modelo ($2 * h_{max}$).

Las ecuaciones que rigen ENVI-met son demasiado numerosas para ser presentadas en profundidad en este trabajo. Sin embargo el modelo está bien documentado en Bruse & Fleer (1998), Bruse (1999) y se actualiza con regularidad en el sitio www.envi-met.com, allí también se puede descargar el programa de acceso libre y obtener información sobre versiones actualizadas.

Área de intervención

Se monitoreó una zona consolidada del Área Metropolitana de Mendoza que presenta un crecimiento sostenido. El sector está inserto en un área de gran potencialidad para la rehabilitación urbana que permite sentar las bases para un futuro crecimiento vertical debido a una serie de factores como: proximidad al centro de la ciudad, localización en relación a los ejes de circulación y disponibilidad de servicios e infraestructura (32°54'47"S, 68°50'46"O). El área evaluada es de uso residencial, baja densidad y tiene una superficie de 210 x 210 metros, configuración ortogonal y $H/W=0.3$. Presenta aproximadamente un 60 % de forestación principalmente *morus alba*, especie arbórea de 15 m de alto y hoja caduca. De acuerdo a la zona climática local según clasificación del índice LCZ (Stewart et al., 2014) el área evaluada corresponde a LCZ 6a.

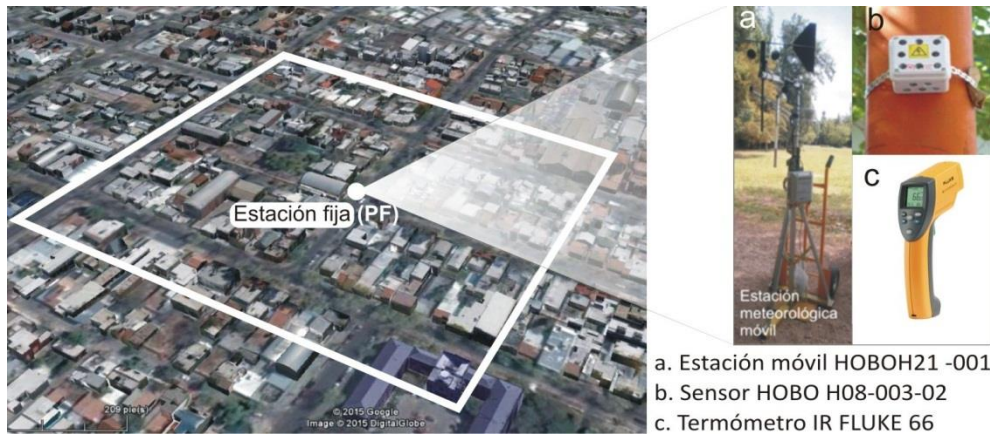
Monitoreo

Se recogieron las variables de temperatura (Ta) humedad relativa (HR) del aire por hora para calibrar los datos simulados con los medidos. Para ello se colocó una estación fija tipo *HOB0 H08-003-02* a 2.5 m de altura dentro del canal vial (punto fijo-Pf-). Se tomaron registros de velocidad de viento (Vv) desde una estación meteorológica móvil (EMM) tipo *ONSET Weather HOB0 H21-001*. También se recogieron datos de temperatura superficial de suelo ($Tsuelo$) en el punto Pf durante un periodo de

12:00 hs con un termómetro infrarrojo tipo *FLUKE 66*. (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.1)

El monitoreo se llevó a cabo en la temporada de verano, en días estables sin ocurrencia de precipitaciones. Los datos utilizados para la calibración corresponden al 14 de enero por presentar condiciones estándares al periodo estival de Mendoza (temperatura máxima: 36 °C; temperatura mínima: 21 °C; temperatura promedio: 27 °C; radiación global máxima 1.174 W/m²; y humedad relativa promedio 25 %).

Figura 1. Vista aérea del área de estudio y ubicación de la estación fija (Pf). Detalle de instrumentación utilizada para el relevamiento de datos.



Fuente: Fotografía Satelital. Google Earth (izquierda).

Simulación con ENVI-met

El modelado del espacio físico en el simulador fue realizado sobre en una versión 100 x 100 x 30. La resolución del área es de 3 x 3 x 3m, el número de grillas totales es de x: 70; y: 70; z: 30, debido a que la superficie de referencia es de 210 x 210 m.

Los datos de configuración son variables no perturbadas que caracterizan las condiciones de borde de la simulación, tales como: (i) velocidad, dirección de viento (m/s) a 10 m de altura y rugosidad de suelo (z₀) al punto de referencia; (ii) temperatura atmosférica inicial (K) y humedad específica (gr. agua/kg. aire) a 2.500m de altura. Los datos se obtuvieron del Aeropuerto Francisco Gabrielli – Estación n°87418- en colaboración con la Universidad de Wyoming; (iii) ajuste de radiación solar (W/m²). El programa utiliza los datos no perturbados de localización geográfica previamente seleccionados para calcular la altura solar, azimut y flujo de radiación (directa, difusa y global), estos datos fueron validados con la estación meteorológica del Aeropuerto Francisco Gabrielli.

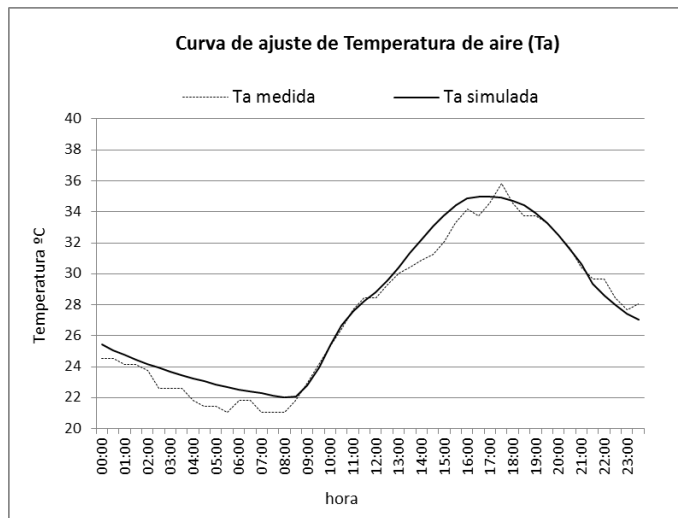
Análisis de precisión según distintos indicadores

En orden de cuantificar las capacidades en el pronóstico microclimático del simulador urbano ENVI-met 3.1 se procede a evaluar el ajuste del modelo de simulación con los datos medidos en el día de referencia.

Ajuste de temperatura de aire medida ($T_{a\text{medida}}$) y simulada ($T_{a\text{simulada}}$)

Para determinar la precisión del modelo numérico se validó la curva de temperatura de aire simulada con ENVI-met con el punto fijo monitoreado (Pf) en el día de referencia.

Figura 2. Ajuste de curva de temperatura de aire (°C) entre el modelo numérico ($T_{a\text{simulada}}$) y medida ($T_{a\text{medida}}$).

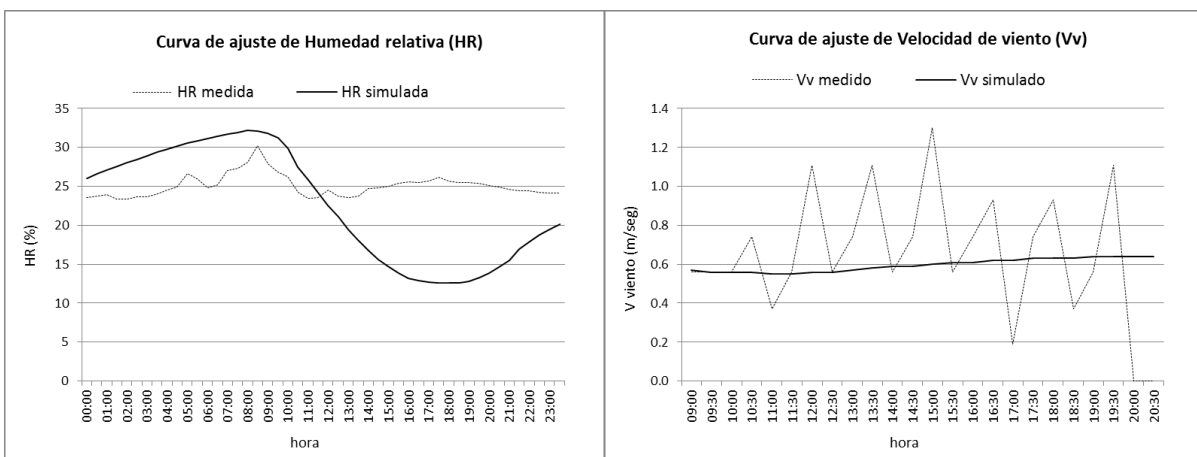


En la figura 2 se observa un buen ajuste entre las curvas. Para determinar el nivel de precisión se calcularon parámetros estadísticos. Coeficiente de determinación $R^2 = 0,98$, error típico de 0,7 y error estándar de la media igual a 0,025 (ver Tabla 1).

Ajuste de humedad relativa medida y de velocidad de viento, medidas ($HR_{\text{medida}} - Vv_{\text{medida}}$) y simuladas ($HR_{\text{simulada}} - Vv_{\text{simulada}}$)

En la figura 3 se grafica la curva diaria de humedad relativa (%) a escala peatonal (2,5m) y la curva de velocidad de viento (m/s) de los datos del día de referencia y los arrojados en modelo numérico ENVI-met.

Figura 3. Ajuste de curva de humedad relativa (%) entre el modelo numérico (HR_{simulada}) y medida (HR_{medida}) (izquierda). Ajuste de curva de velocidad de viento (Vv) entre el modelo numérico (Vv_{simulada}) y medida (Vv_{medida}) (derecha).



Las curvas de la figura 3.a muestran que el simulador tiende a sobrestimar el porcentaje de humedad hasta las 11:00 hs. y luego experimenta una caída abrupta registrando su máxima diferencia en el período de mayor ganancia de calor (entre las 17:00 y 18:00 horas) donde la humedad relativa simulada es 13 % menor a la medida. En el período de enfriamiento (8:00hs) se registra una diferencia de 2 % entre la curvas. El promedio de HR_{simulada} es de 23 % y la HR_{medida} es de 25 %.

Para el pronóstico de humedad relativa el simulador tienen un error típico de 1,4, el doble de magnitud que el registrado en el ajuste de temperatura de aire, y un error estándar de la media igual a 0,062.

Este hecho puede deberse a múltiples razones, el modelo utilizado por el simulador sin duda representa de manera adecuada el comportamiento de la humedad relativa (HR) de una zona árida, en la cual al no haber variaciones significativas del contenido de humedad específica en la atmósfera debido a aportes al balance hídrico por evapotranspiración o lluvias, la HR muestra un comportamiento opuesto al de la temperatura, es decir cuando la temperatura del aire -temperatura de bulbo seco- aumenta la HR desciende proporcionalmente y a la inversa. Eso está bien reflejado por la curva teórica que arroja el simulador. Sin embargo la curva medida-caso real- está afectada por otros aspectos que no son sólo atribuibles a la naturaleza del fenómeno físico sino que están relacionados con las limitaciones y características del instrumento de medición. El sensor utilizado tiene un rango de sensibilidad confiable por encima del 20 % de HR y hasta el 95 %. El día monitoreado, presenta rangos muy bajos de humedad por lo que la respuesta del sensor muestra menor sensibilidad a los cambios de humedad de la atmósfera. Es por ello que en este caso la magnitud del error cometido en la predicción horaria de la HR es compartido entre el modelo numérico para la simulación de la variable y la sensibilidad del sensor utilizado para monitorearla. Cómo es conocido la humedad relativa en la atmósfera es una variable de mezcla dependiente de varios componentes, como la velocidad del aire y la fisiología de la vegetación introducida al simulador cuyas especies disponibles en la base de datos de vegetación ajustan fisonómicamente pero no ajustan completamente con los parámetros fisiológicos del arbolado urbano de Mendoza. De todos modos es importante destacar que este parámetro no ha influenciado significativamente el balance térmico y esto se ve reflejado en el buen ajuste de la curva de temperatura y también del dato de HR promedio.

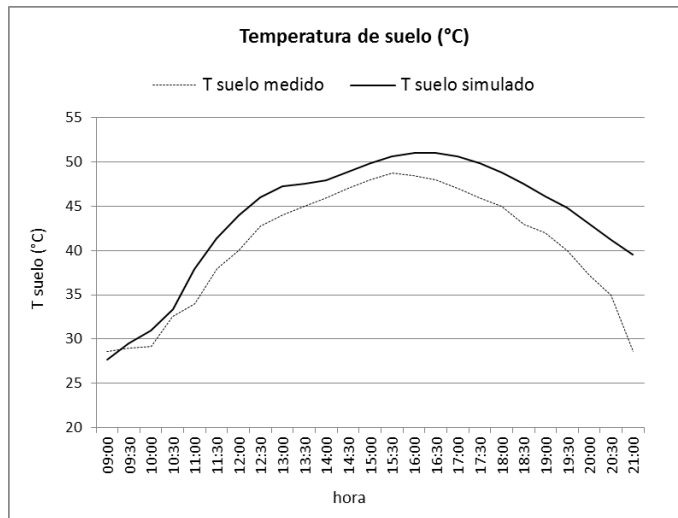
Lo mismo ocurre con la velocidad de viento, las curvas de la figura 3.b evidencian que el modelo numérico que utiliza ENVI-met no ajustan hora a hora con la Vv_{medida} , registran un error típico de 0,335 y estándar de 0,56 m/s. Sin embargo calcula de manera más precisa el promedio: $Vv_{simulada} = 0,60$ m/s y la $Vv_{medida} = 0,65$. El parámetro estadístico que mostró mayor ajuste fue la moda con registros de velocidad de viento idénticos tanto en la curva simulada como la medida ($Vv_{moda_{simulada}} = 0,56$ m/s).

Estos resultados ratifican el hecho de que estos fenómenos no sólo son complejos de simular sino que también de medir. Otro aspecto a destacar es que como el área de estudio está inserta en una zona árida registra bajas frecuencias y velocidades de viento. Por lo tanto en el modelo real éstas variables no son de alto impacto en el balance térmico, siendo probable que tampoco lo sean en el modelo teórico. Resultando suficiente para el ajuste preciso del balance térmico el cálculo de los datos promedios diarios de velocidad de viento y HR. (Ver T_a en Figura 2 y Tabla 1)

Ajuste de temperatura de suelo ($T_{suelo_{medida}}$) y simulada ($T_{suelo_{simulada}}$)

En la figura 4 se grafica la temperatura superficial de los pavimentos dentro del área de estudio ($T_{suelo_{medido}}$) y la temperatura superficial ($T_{suelo_{simulada}}$) calculada por el modelo numérico ENVI-met, durante un periodo de 12 hs (9:00 a 21:00 hs).

Figura 4. Ajuste de curva de temperatura superficial de suelo (°C) entre el modelo numérico (Tsuelo_{simulada}) y medida (Tsuelo_{medida}).



La grafica evidencia que el simulador predice de manera precisa la tendencia de la curva de temperatura superficial del área evaluada, registrando un coeficiente de determinación (R^2) de 0.90. Sin embargo se observa una sobrestimación de los valores absolutos calculados, la curva simulada tiene un error típico de 2,3 y error estándar de la media igual a 0,051. El promedio de Tsuelo_{medido} es de 41 °C y el promedio de Tsuelo_{simulado} es de 44 °C. (Figura 4 y Tabla 1)

Tabla 1. Indicadores registrados in-situ (medidos) y calculados por el software ENVI-met 3.1 (simulados), según estadísticos promedios (prom); amplitud (amp); máximo (max); mínimos (min).

| TEMPERATURA DE AIRE (%) | Ta medida | Ta simulada | HUMEDAD RELATIVA (%) | HR medida | HR simulada | VELOCIDAD DE VIENTO (m/seg) | Vv medida | Vv simulada |
|-------------------------|-----------|-------------|----------------------|-----------|-------------|-----------------------------|-----------|-------------|
| min | 21 | 22 | min | 23 | 13 | min | 0,19 | 0,55 |
| max | 36 | 35 | max | 30 | 32 | max | 1,3 | 0,64 |
| amp | 15 | 13 | amp | 7 | 20 | amp | 1,11 | 0,09 |
| prom | 27 | 28 | prom | 25 | 23 | prom | 0,65 | 0,6 |

Modificación de parámetros morfológicos y materiales

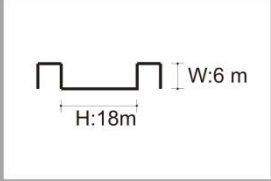
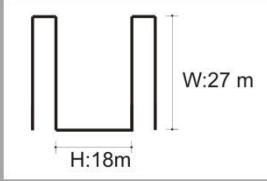
En ésta sección, se evalúa el impacto de la modificación de diferentes parámetros morfológicos y materiales sobre las temperaturas de aire exterior, humedad relativa y temperaturas superficiales. Para ello fueron simulados 18 escenarios que modifican densidad edilicia, porcentajes de vegetación dentro del canal vial y nivel de albedo superficial de materiales de la envolvente urbana. Fueron establecidos los siguientes rangos:

- *Densidad edilicia:*
 - B:** Baja densidad. Relación alto y ancho de canal vial (H/W) igual a 0,3.
 - A:** Alta densidad. Relación alto y ancho de canal vial (H/W) igual a 1,5.
- *Porcentajes de vegetación:*
 - a:** 60 % de vegetación dentro del canal vial;

- b:** 20 % de vegetación dentro del canal vial;
- c:** 0 % de vegetación dentro del canal vial.
- *Rangos de albedo (\hat{a}):*
 - R1:** Albedo bajo. Promedio de $\hat{a}=0,28$;
 - R2:** Albedo alto. Promedio de $\hat{a} =0,75$;
 - R3:** Albedo combinado, en éste rango se distingue albedo bajo en superficies horizontales - paredes y pavimentos- y en superficies verticales -paredes-. Promedio de $\hat{a} = 0,60$.

En tabla 2 se enumeran los escenarios según configuración morfológica y material.

Tabla 2. Codificación de escenarios según densidad, porcentaje de vegetación y rangos de albedo.

| | | BAJA DENSIDAD (H/W=0,3) | | | ALTA DENSIDAD (H/W=1,5) | | |
|------------|-----|---|------|------|--|------|------|
| | |  | | |  | | |
| | | ALBEDO | | | ALBEDO | | |
| | | R1 | R2 | R3 | R1 | R2 | R3 |
| VEGETACIÓN | 60% | B1.a* | B2.a | B3.a | A1.a | A2.a | A3.a |
| | 20% | B1.b | B2.b | B3.b | 1.b | A2.b | A3.b |
| | 0% | B1.c | B2.c | B3.c | A1.c | A2.c | A3.c |

* Corresponde a las características del área actual de estudio.

- *Modificación de la densidad edilicia: A: alta densidad; B: baja densidad.*

Se observa que las configuraciones en alta densidad registran menores temperaturas de aire máximas ($T_{a_{max}}$) que los escenarios de baja densidad, debido a las sombras que proyecta la alta concentración edilicia. Los escenarios en alta densidad son hasta 3,5 °C más fríos que en baja densidad. La alternativa de alta densidad con 60 % de vegetación y albedo combinado es la que registra menores T_a (ver A3.a en Tabla 3).

Durante el periodo de enfriamiento la humedad relativa (HR_{max}) oscila entre 30 y 34 % en escenarios de baja densidad y entre 22 y 30 % en escenarios de alta densidad. Esto pone de manifiesto el efecto de isla seca que genera el incremento de masa térmica asociada a la densificación urbana.

Durante la ocurrencia de las máximas temperatura superficiales los escenarios de alta densidad registran un $T_{suelo_{max}}$ que oscila entre 37° y 63°C, mientras que en baja densidad oscila entre 40° y 63°C. La alternativa con 60 % de vegetación, alto albedo y alta densidades el escenario con menores T_{suelo} (ver A2.a en Tabla 3)

- *Modificación de porcentajes de vegetación: a: 60 %; b: 20 %; c: 0 %.*

Incrementar la vegetación es la estrategia general que aplicada a cualquier configuración morfológica y material ofrece mayores posibilidades de mejora de la condición de habitabilidad térmica exterior.

Disminuye las $T_{a_{max}}$ hasta 3 °C (ver B3.a vs B3.c en Tabla 3). Incrementa la HR_{max} hasta 5 % y además disminuye la T_{suelo} hasta 9 °C (ver A3.a vs A3.c en Tabla 3).

- *Modificación del nivel de albedo: R1: bajo; R2: alto; R3: combinado.*

Los escenarios con albedo combinado (alto albedo en superficies horizontales y bajo albedo en superficies verticales) resulta las alternativas más efectiva bajo todas las configuraciones analizadas en orden de mejorar la habitabilidad de los espacios exteriores manteniendo el 60 % de vegetación (ver B3.a vs B1.a y A3.a vs A1.a en Tabla 3). Estos escenarios registran disminuciones de hasta 3 °C en $T_{a_{max}}$ y de hasta 12 °C en $T_{suelo_{max}}$.

Tabla 3. Temperatura de aire (T_a °C), humedad relativa (HR %), temperatura de suelo (T_{suelo} °C), y Temperatura media radiante (T_{mr} °C) mínimas (min), máximas (max) y promedios (prom) para los 18 escenarios simulados, del total de los escenarios simulados.

| BAJA DENSIDAD | | | | | | | | | | ALTA DENSIDAD | | | | | | | | | |
|---------------|---------|-----|------|--------|-----|------|--------------|-----|------|---------------|---------|-----|------|--------|-----|------|--------------|-----|------|
| COD. | Ta (°C) | | | HR (%) | | | T suelo (°C) | | | COD. | Ta (°C) | | | HR (%) | | | T suelo (°C) | | |
| | min | max | prom | min | max | prom | min | max | prom | | min | max | prom | min | max | prom | min | max | prom |
| B1.a* | 22 | 36 | 28 | 13 | 32 | 23 | 27 | 51 | 37 | A1.a | 23 | 34 | 28 | 15 | 29 | 23 | 28 | 52 | 38 |
| B1.b | 23 | 37 | 29 | 11 | 29 | 20 | 29 | 62 | 43 | A1.b | 24 | 35 | 29 | 12 | 25 | 19 | 29 | 63 | 43 |
| B1.c | 23 | 37 | 30 | 10 | 29 | 19 | 29 | 63 | 43 | A1.c | 24 | 35 | 29 | 12 | 24 | 18 | 29 | 63 | 43 |
| B2.a | 22 | 34 | 27 | 13 | 33 | 23 | 26 | 43 | 34 | A2.a | 23 | 35 | 28 | 13 | 27 | 20 | 24 | 37 | 30 |
| B2.b | 23 | 36 | 29 | 11 | 30 | 21 | 27 | 49 | 37 | A2.b | 24 | 35 | 29 | 12 | 25 | 18 | 29 | 53 | 39 |
| B2.c | 23 | 36 | 29 | 11 | 29 | 20 | 27 | 50 | 37 | A2.c | 24 | 35 | 29 | 11 | 23 | 17 | 29 | 52 | 39 |
| B3.a | 22 | 33 | 27 | 14 | 33 | 24 | 26 | 40 | 32 | A3.a | 23 | 32 | 27 | 17 | 30 | 24 | 27 | 40 | 33 |
| B3.b | 22 | 35 | 28 | 12 | 30 | 21 | 27 | 47 | 36 | A3.b | 23 | 33 | 28 | 14 | 27 | 21 | 27 | 46 | 35 |
| B3.c | 23 | 36 | 29 | 11 | 29 | 20 | 27 | 48 | 36 | A3.c | 24 | 34 | 28 | 13 | 25 | 19 | 28 | 47 | 35 |

En adición estos datos evidencian que el simulador es una buena herramienta para determinar la mejor condición térmica según distintas configuraciones y parámetros referentes al planeamiento y diseño urbano.

Conclusiones

El alto grado de ajuste de la temperatura de aire de las curvas diarias medidas en comparación con las curvas simuladas apoya la fiabilidad de los resultados predictivos en relación con el comportamiento térmico urbana tanto para el día como durante la noche. El pronóstico de la humedad relativa muestra deficiencias debido a las características del sensor utilizado para monitorear la realidad y las características de la fisiología vegetal incorporada en el simulador, la cual no se ajusta completamente con los forestales urbanos locales.

La principal ventaja del ENVI-met es que es un modelo que busca reproducir los principales procesos atmosféricos que afectan al microclima sobre bases física fundadas, tales como las leyes fundamentales de la dinámica y la termodinámica de fluidos (Ali-Toudert, 2005). De acuerdo con los objetivos del presente trabajo, ENVI -met posee las siguientes ventajas:

- ENVI -met simula la dinámica microclimática dentro de un ciclo diario. El modelo es dinámico, pronostica todos los procesos de cambio, incluyendo flujos de viento, turbulencia, flujos de radiación, temperatura y humedad.
- Es posible una representación detallada de estructuras y materialidades urbanas complejas, es decir, edificios con diferentes formas y alturas, y propiedades ópticas de materiales, características muy relevantes en el desarrollo de éste estudio.
- La vegetación es considerada no sólo como un obstáculo poroso al viento y a la radiación solar, sino también mediante la inclusión de los procesos fisiológicos de evapotranspiración y fotosíntesis. Se pueden seleccionar numerosas tipologías de vegetación con propiedades específicas. El suelo también se considera como un volumen compuesto de varias capas y tipologías.
- El modelo requiere un número limitado de entradas y proporciona un gran número de datos de salida. La alta resolución espacial (hasta 0,5 m en sentido horizontal) y temporal (hasta 10 segundos) permitir una detallada lectura de los cambios micro climáticos.

Bibliografía

- Acero J. (2010). *Influencia de la vegetación en la calidad del aire y el clima urbano*. CONAMA, 1,1-13.
- Alchapar, N. (2015). *Materiales de la envolvente urbana. Valoración de su aptitud para mitigar la isla de calor en ciudades de zonas áridas* (Tesis Doctoral). Universidad nacional de salta. Facultad de ciencias exactas.
- Ali-Toudert F. (2005). *Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate*. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg No. 15. <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2078>
- Arnfield J., Herbert J., Johnson G. (1998). *A numerical simulation investigation of urban canyon energy budget variations*. Proc. 13th Int. Conf. on Biometeorol and Aerobiol, Albuquerque, New Mexico, AMS: 2-5.
- Arnfield, A. (2003). *Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*. International Journal of Climatology, 23 (1), 1-26. Doi: 10.1002/joc.859.
- Asawa T., Hoyano A., Nakaohkubo K. (2004). *Thermal design tool for outdoor space based on numerical simulation system using 3D-CAD*. Proc. 21th Int. Conf. on PLEA, Eindhoven. Netherlands, 2, 1013-1018.
- Bruse E. ENVI-met 3.1. On-Line Manual. 2006. Disponible en: <http://www.envi-met.com>.
- Bruse M. (1999). *Die AuswirkungenkleinskaligerUmweltgestaltungauf das Mikroklima*. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-metzur Simulation der Wind-, Temperatur-, und Feuchtverteilung in städtischen Strukturen. PhD Thesis, Univ. Bochum, Germany.
- Bruse M., Fleer H. (1998). *Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model*. Envir. Model. Software, 13(3-4), 373-384. Doi: 10.1016/S1364-8152(98)00042-5
- Bruse, M. (2009). *StadtlandschaftimKlimawandel - Zu den Grundlagen des städtischenMikroklimas*. Collinet, HD and Pesch, F (eds). StadtundLandschaft, KlartextVerlagEssen.
- Chowa W, Brazel, A. (2012). *Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city*. Building and Environment, 47, 170-181. Doi: 10.1016/j.buildenv.2011.07.027
- Groleau D., Miguet F. (1998). *Solèneet la simulation des éclairgements directs et diffuse des projets architecturaux et urbains*. IBPSA France '98. SophiaAntipolis. 61-65.
- Herbert J., Johnson G., Arnfield J. (1998). *Modelling the thermal climate in city canyons*. Envir. Model. Software, 13 (3-4): 267-277. Doi: 10.1016/S1364-8152(98)00027-9
- Johnsson G., Hunter L. (1995). *A numerical study of dispersion of passive scalars in city canyons*. Boundary-Layer. Meteorol, 75 (3), 235-262. Doi: 10.1007/BF00712696

- Krüger E., Minella F., Rasia F. (2011). *Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil*. Building and Environment, 46(3), 621-634. Doi: 10.1016/j.buildenv.2010.09.006
- Masson V. (2000). *A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models*. Boundary-Layer Meteorol, 94 (3), 357-397. Doi: 10.1023/A:1002463829265
- Mills G. (1993). *Simulation of the energy budget of an urban canyon I. Model structure and sensitivity test*. Atmos. Envir, 27B (2), 157-170. Doi: 10.1016/0957-1272(93)90002-N
- Observatorio Aéreo de Mendoza. SAME. Aeropuerto Francisco Gabrielli. Estación N° 87418. <http://www.wunderground.com/history/airport/SAME/>.
- Universidad de Wyoming (EE.UU.) - Facultad de Ingeniería - Departamento de Ciencias de la Atmósfera. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- Peini K., Magliocco A. (2014). *Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort*. Urban Forestry and Urban Greening. 13(3), 495-506. Doi: 10.1016/j.ufug.2014.03.003
- Ruiz M., Correa E. (2014). *Adaptive model for outdoor thermal comfort assessment in an oasis city of arid climate*. Building and Environment. 85, 40-51. Doi: 10.1016/j.buildenv.2014.11.018
- Ruiz M., Sosa M., Correa E. Cantón M. (2015). *Forested urban configurations and its thermal behavior in an arid city*. Journal of Environmental Quality. En Prensa. Doi: 10.2134/jeq2015.06.0269.
- Samaali M., Courault D., Bruse M., Olioso A., Occelli R. (2007). *Analysis of a 3D boundary layer model at local scale: Validation on soybean surface radiative measurements*. Atmospheric Research, 85(2), 183-198. Doi: 10.1016/j.atmosres.2006.12.005
- Shashua-Bar L., Hoffman M. (2000). *Vegetation as a climatic component in the design of an urban street*. Energy and Buildings, 31(3), 221-235. Doi: 10.1016/S0378-7788(99)00018-3
- Soo-Gon H, Sun-Hye M, Jung-Ho H (2007). *Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea*. Proceedings Building Simulation, 1131-1138.
- Stewart I., Oke T., Scott Krayenhoff E. (2014). *Evaluation of the "local climate zone" scheme using temperature observations and model simulations*. Inter Jour of Climat. 34(4), 1062-1080. Doi: 10.1002/joc.3746.
- Swaid H., Hoffman M. (1990). *Prediction of urban air temperature variations using the analytical CTTC model*. Energy and Buildings, 14 (4), 313-324. Doi: 10.1016/0378-7788(90)90094-Y.
- Taleghani M., Kleerekoper M., Tenpierik M., Dobbelsteen A. (2015). *Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands*. Building and Environment, 83, 65-78. Doi: 10.1016/j.buildenv.2014.03.014.
- Tanhuanpää T., Vastaranta M., Kankare V. Holopainen M, Hyyppä J, Hyyppä , Alho P. y Raisio J. (2015). *Mapping of urban roadside trees -a case study in the tree register update process in Helsinki City*. Urban Forestry and Urban Greening. Doi: 10.1016/j.ufug.2014.03.005.
- Teller J, Azar S. (2001). *TOWNSCOPE II - A computer system to support solar access decision-making*. Solar Energy, 70 (3), 187-200. Doi: 10.1016/S0038-092X (00)00097-9.

Autores

Noelia L. Alchapar, es Arquitecta (Universidad de Mendoza). Doctora en Ciencias en el Área de Energías Renovables (Universidad Nacional de Salta). Especialista en Desarrollo Sustentable de Hábitat Humano (Universidad Tecnológica Nacional). Becaria Posdoctoral en el Consejo Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología (CONICET). nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar.

Erica N. Correa, es Ingeniera Química (Universidad Tecnológica Nacional). Doctora en Ciencias en el Área de Energías Renovables (Universidad Nacional de Salta). Profesora titular de la Universidad Tecnológica Nacional. Investigadora Independiente en el Consejo Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología (CONICET) de la Argentina. ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar.

Modelo de simulación aplicado a territorios vulnerables

*Arq. Augusto Avalos¹; Esp. Arq. Claudia Rodríguez²; Esp. Arq. Andrea Ulacia³;
Arq. María Beatriz Sánchez Arrabal⁴*

Resumen

El objetivo es aplicar el Modelo de Dinámica de Sistemas diseñado, sobre escenarios complejos en un territorio vulnerable forzando comportamientos diferenciales. La metodología se basa en analizar la ciudad real y sus relaciones, anclada sobre la ciudad legal. Se construyeron escenarios complejos que, articulando las variables estables del Modelo aplicado y las variables inestables, permitieron inferir conclusiones del comportamiento del Sistema. Se concluye que por la aplicación del Modelo, se trabaja la variable temporal como parte inescindible de la consideración del sistema, fortaleciendo la retroalimentación, y controlando objetivos deseados y objetivos alcanzados; y modificaciones en el entorno produciendo los cambios necesarios para corregir una dirección no deseada, con lo que se logran nuevos productos cuyo impacto vuelve a ser tomado por el proceso de retroalimentación. Se propone como herramienta dinámica de estudio y análisis, para orientar la toma de decisiones considerando un amplio espectro de variables e impactos posibles.

Palabras clave: modelizaciones; variables; territorios vulnerables; escenarios complejos.

Simulation model applied to vulnerable áreas

Abstract

The aim of this study is to apply a system dynamics model on complex scenarios in a vulnerable territory forcing differential behaviors. The methodology is based on the analysis of the city and their relationships, anchored on the legal city. We constructed complex scenarios that, articulating the variables of the model applied stable and unstable variables, allowed to infer conclusions from the behavior of the System. It was concluded that the implementation of the model, the temporary variable as indivisible part of the consideration of the system, strengthening the feedback, and controlling desired goals and objectives have been achieved. It is proposed as dynamic tool for study and analysis, to guide the decision-making considering a wide range of variables and possible impacts.

Keywords: modeling; variables; vulnerable territories; complex scenarios.

¹ Autor – Integrante proyecto acreditado UNLP - 2015/2018.

² Autor – Integrante proyecto acreditado UNLP - 2015/2018.

³ Autor – Director proyecto acreditado UNLP - 2015/2018.

⁴ Autor – Codirector proyecto acreditado UNLP - 2015/2018.

Introducción

La línea de investigación que se desarrolla desde el proyecto acreditado por la Universidad Nacional de La Plata: *“Estudio de Escenarios Complejos en el Gran La Plata aplicando Modelos de Dinámica de Sistemas” -2015/2018-* presenta una propuesta innovadora acerca de conceptos básicos de diseño cartográfico para el uso en un modelo de dinámica de sistemas aplicado al ordenamiento urbano y territorial sobre variables e indicadores “urbanísticos” como herramienta que permita entre otras cuestiones, el manejo de la información.

Se propone así generar sobre la base de un sistema de información geográfica un modelo de dinámica de sistemas aplicado a indicadores “urbanísticos” territoriales, que permita evaluar comparativamente escenarios como medio para operar sobre variables que generan incertidumbre, inestabilidades o alteraciones sobre la base estable del modelo, midiendo posibles riesgos.

En la definición de las variables que se utilizan se trabaja sobre el caso particular de la Provincia de Buenos Aires, donde rige una ley provincial que establece que la totalidad del territorio provincial debe pertenecer a un Área: Urbana, Complementaria o Rural y dentro de cada una de ellas, a Zonas. La realización de comparativas entre los indicadores elegidos en el proceso de investigación determina las fortalezas o debilidades de cada uno de los sistemas y las interrelaciones entre los diferentes factores estudiados, desde los propios resultados de la modelización hasta las características urbanísticas actuales y las posibilidades futuras.

La aplicación del modelo generado al Gran La Plata permite analizar los escenarios complejos planteados, explorando y redefiniendo el proyecto de ciudad deseada, evaluando la compatibilidad y visualización en relación a variables e indicadores.

Objetivo General

Aplicar el Modelo de Dinámica de Sistemas para el Ordenamiento Urbano y Territorial – MDSOUyT-, sobre escenarios complejos que surgen de combinar variables inestables que podrían afectar a la Región del Gran La Plata, forzando comportamientos diferenciales sobre las variables estables del Modelo, que requerirán de la modelización y evaluación comparativa para la toma de decisiones, con protocolos de aplicación y procedimientos basados en la semiología gráfica que mejoren la comunicación de los resultados para la evaluación de escenarios considerados.

Metodología

La metodología utilizada aborda el caso de la Región del Gran La Plata analizando la ciudad real y las relaciones que se dan sobre ella, anclada sobre la ciudad legal definida por los marcos legales territoriales y ambientales que son de obligatorio cumplimiento en los municipios que la componen. Se han definido escenarios complejos que articulando las variables estables y las variables inestables consideradas en cada caso, permitirán inferir conclusiones respecto al comportamiento del Sistema. Esta estrategia, comparte la idea, del caso considerado de interés en sí mismo y que, es abordado en toda su complejidad, con una fuerte orientación interpretativa.

En este marco, se abordarán los escenarios complejos abarcando la escala de la totalidad del sector, y en la medida que corresponda se estudiará una intervención que se desprenda del proceso de planificación, y sea considerada como una variable inestable del Modelo. Este esquema exploratorio como estrategia general se utiliza para la producción de conceptos de alcance explicativo que, *"aunque sea parcial, es un discurso que intenta reconstruir a su manera, el funcionamiento de conjunto de cierto sector de la realidad, (...) captar sus principios constitutivos"*. (J. Ladriere 1978). De esta forma, la estrategia general está especialmente orientada, por un lado a avanzar sobre un campo poco trabajado, y por el otro, a generar ideas que permitan nuevas preguntas y nuevas hipótesis. Esquemáticamente, el proceso se puede fragmentar o dividir en:

- Un perfil exploratorio, basado en el estudio del caso, sobre la base de tareas de revisión y análisis documental sobre el tema y su posterior crítica e información.
- Un perfil empírico, que apunta a la definición de estudios de caso.
- Un perfil de comunicación, difusión y transferencia, que privilegia el intercambio de experiencias y la consolidación de un modelo con una fuerte impronta de diseño cartográfico propio.

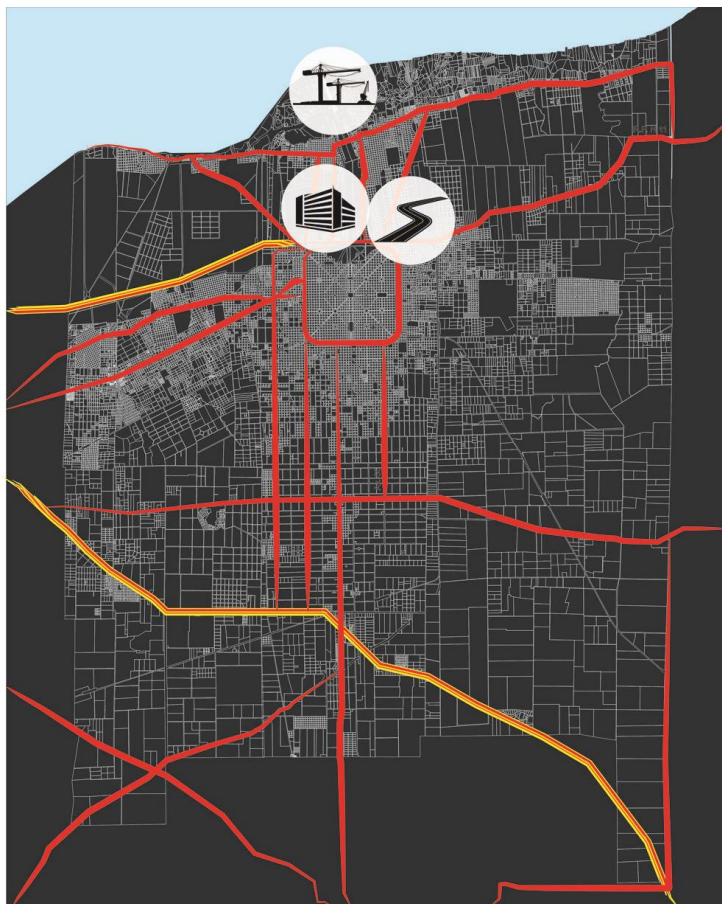
Desarrollo

El área de estudio está definida por el Gran la Plata integrada por los municipios de Berisso, Ensenada y La Plata. En el marco de la estructura jerárquica del sistema metropolitano de centros y subcentros, el Gran La Plata se posiciona en situación de privilegio por ser centro de relevancia político institucional; por su variada constelación de centros y laboratorios científicos-tecnológicos y universidades; por la calidad de los establecimientos asistenciales públicos y privados; por su desarrollo industrial especialmente en el sector petroquímico; por su fluida estructura comunicacional de tipo polimodal y su infraestructura de accesibilidad; por la capacidad agrícola frutihortícola; por su variada oferta cultural y de formación; por su excelente patrimonio natural y cultural. Es además, área de incidencia de los impactos de tipo ambiental, territorial, funcional, económico, social y cultural.

La creciente urbanización origina importantes procesos de expansión urbana de forma dispersa que conviven con las habituales formas de periferización del modelo compacto. Grandes y rápidas transformaciones son producidas por la alta atracción que generan estas áreas y reúne una doble condición regional por cuanto es a la vez una región espontánea y de planeamiento; ello implica una enorme ventaja, dado que la región de planeamiento como objetivo supra territorial no representa una imposición a cada una de las partes del conjunto.

La región conlleva además en todas las cuestiones asociadas a la gestión del ordenamiento territorial, la complejidad de los distintos estamentos inter jurisdiccionales intervinientes (Nación, Provincia y Municipios). También es el área de incidencia de impactos de tipo ambiental, territorial, funcional, económico, social y cultural que derivarán - en el corto y mediano plazo - de un conjunto significativo de proyectos en curso como son entre otros: proyecto del Puerto La Plata, Plan Integral de las cuencas hídricas, reconversión y cambio de escala operativa del Aeropuerto La Plata, plan de obras para el reacondicionamiento de las arterias Avdas. 7, 13 y 90 que servirán de vías de acceso al Aeropuerto, extensión de la AU La Plata / Buenos Aires hasta Berisso y su vinculación con la Avda. 90 y la RPN° 11, construcción de la Avda. 90, proyecto de recuperación del Tren Liviano del Sur, del ramal Avellaneda-La Plata, proyecto de renovación integral de las estaciones de la traza y su entorno (Meridiano V), ampliación del tren universitario y obras en el Ex BIM por parte de la Universidad Nacional de La Plata.

Figura 1. Inserción territorial



Fuente: Elaboración propia

El conjunto de proyectos en proceso de concreción y algunas de las condiciones reseñadas generan importantes procesos socioeconómicos y ambientales que la convierten en un ámbito oportuno para el aprendizaje y puesta en práctica de la planificación. Para efectivizar la implementación del proceso metodológico planteado, y tal como se ha expresado anteriormente, se han definido dos tipos de variables las Estables y las Inestables. La Metodología aplicada al proyecto, contempla como variables estables una síntesis fuertemente morfológica de los indicadores urbanísticos del Decreto Ley 8912/77 que rige el uso y la ocupación del suelo en la Provincia de Buenos Aires, y en el caso de las variables inestables se utilizaron modelos de elevación para incorporar variables vinculadas a las grandes obras que se desarrollan en la región. Las variables estables se trabajan con una Unidad de Análisis que es la zona, determinada por la normativa vigente, enmarcada en el Decreto mencionado. De acuerdo a los indicadores urbanísticos que posee la zona, será la morfología que se pretende alcanzar. A partir de la comparación de estos datos, se define el comportamiento de cada zona, dado que cada una de ellas satisface algunas necesidades y carece de otras, para ello la población se traslada hacia otras zonas y logra de esta forma cubrir sus demandas. Se las podría definir como a aquellas que generan pautas para la localización de las actividades en el territorio, superficies dedicadas a cada tipo de uso y ocupación.

En cada una de las zonas definidas, deben fijarse una serie de “indicadores urbanísticos”; los mismos constituyen valores de mínima y máxima, a partir de los cuales se determinan y fijan las

posibilidades futuras de desarrollo, crecimiento, morfología, etc., como así también las restricciones, limitaciones y condicionamientos resultantes para cada una de las zonas. Los indicadores de cada zona están correlacionados y son complementarios. La formulación de cada uno de ellos está en directa relación con el resto de los propuestos o vigentes para una misma zona. Asimismo, resultan ser independientes entre cada zona, con el todo urbano y con sus proyecciones externas.

Figura 2. Esquema del Modelo



TIPO DE USO DEL SUELO: En cada zona, se permitirán todos los usos que sean compatibles entre sí. Aquellos considerados molestos nocivos o peligrosos serán localizados en distritos especiales.

EXTENSIÓN DE OCUPACIÓN DEL SUELO (F.O.S.): Se denomina factor de ocupación del suelo a la relación entre la superficie máxima del suelo ocupada por el edificio y la superficie de la parcela.

INTENSIDAD DE OCUPACIÓN DEL SUELO (F.O.T.): Se denomina factor de ocupación total al coeficiente que debe multiplicarse por la superficie total de cada parcela para obtener la superficie cubierta máxima edificable en ella.

El plan de ordenamiento establecerá para cada zona los máximos factores de ocupación total (F.O.T.) y de ocupación del suelo (F.O.S.) en función de usos permitidos, de la población prevista, de una adecuada relación entre los espacios edificables y los verdes y libres públicos, del grado de prestación de los servicios esenciales y de la superficie cubierta por habitante que se establezca.

DENSIDAD POBLACIONAL: se define como densidad poblacional bruta a la relación entre la población de un área o zona y la superficie total de la misma. La densidad poblacional neta es la relación entre la población de un área o zona y la superficie total de la misma, descontando superficie cedida para Espacios Verdes Públicos y para circulaciones.

EDIFICACIÓN: En cada zona la edificación será regulada de tal forma que no agrupe en la misma una población mayor que la prevista en base a la densidad poblacional establecida, para lo cual se emplearán coeficientes que representen la relación población-suelo-edificio y surjan de vincular

entre sí población, densidad neta, el área neta de espacios edificables, la superficie edificada por habitante, los factores de ocupación del suelo total.

La posibilidad de proyectar y modelizar gráficamente, la aplicación de los indicadores “urbanísticos” al territorio, sobre la base de la norma urbanística del sector de estudio, permitirá explorar, las distintas posibilidades de diseño cartográfico en un escenario complejo, sobre los diversos resultados territoriales en cuanto a morfología urbana, perfiles, aplicación de densidades, posibilitando formular escenarios prospectivos “ver la ciudad futura”, “un sector de ella” o “un elemento u objeto arquitectónico en particular” readecuar y redefinir el proyecto de ciudad deseada, posibilitando la exploración de compatibilidad entre indicadores, visualización de modelos, ajuste de esos indicadores en relación a otras variables e indicadores de carácter territorial, como podrán ser las curvas de nivel, relieve, topografía, entre otras.

Las Variables Inestables establecen una condición nueva o diferente, afectan a la definición de los objetivos de las estables. Se podría considerar el soporte natural, Topografía, Riesgos, Desastres Naturales, impactos de tipo ambiental, territorial, funcional, económico, social y cultural, generados por un conjunto significativo de proyectos, que deben ser considerados al momento de plantear los posibles escenarios.

Este Modelo General se ve perturbado por el surgimiento de Variables Inestables, que en particular en este primer momento del proyecto, fueron definidas como las obras y políticas públicas de escala regional, que generan tensiones afectando la escala urbana.

En general esta situación tiende a producir una mayor demanda de transporte y de nuevas localizaciones residenciales multifamiliares, que compiten con la ocupación actual, definida y delimitada por los atributos de la zona y en el marco de lo que permiten los indicadores urbanísticos.

SOPORTE NATURAL: refleja sectores de gran fragilidad ambiental, por la presencia de bañados y humedales, cursos de agua, la costa del Río de la Plata.

PROYECTOS PARA EL SECTOR: de diversa escala (local, microregional y Regional) y carácter (público, privado e interjurisdiccional).

En cada momento de la definición del Modelo, se trabajó tal como se manifestó en la propuesta metodológica presentada, con Cartografía Temática como camino comunicacional, dado que ofrece las mayores posibilidades de estudio en cuanto a sistema de información espacial y simbología cartográfica; forma parte de lo que se denomina generalmente la representación cartográfica. Permite la elaboración de imágenes gráficas particulares que traducen las relaciones espaciales de uno o varios fenómenos, de uno o varios temas.

Formulación de ESCENARIOS:

Se presenta la caracterización de las variables que se han involucrado en la formulación de los escenarios, considerando:

- Escenario Actual: se construyó a partir del estudio de la situación normativa actual en sectores que involucren límites de las tres jurisdicciones del Gran La Plata involucradas –La Plata, Berisso y Ensenada, una visión del impacto, en las distintas escalas territoriales – puntual, sectorial, regional, macroregional- por la irrupción de vectores que modifiquen el escenario actual, generando un nuevo escenario.
- Escenario de Obras de la Universidad Nacional de La Plata en el predio del ex BIM: tal como se ha expresado en la recopilación de información de la Región del GLP, la Universidad nacional de La Plata posee sobre el sector un importante Plan de Obras, con una incidencia fuerte en la

densidad poblacional con movimiento diario que acude al sector, fundamentalmente al relevado como Grupo Bosque Norte, en el ex predio del BIM III.

- Escenario de reconversión del Puerto La Plata con la nueva terminal de contenedores: esta variable, como se ha descripto anteriormente posee múltiples implicancias en el territorio, de las cuales una de sus manifestaciones es el movimiento de contenedores que se realizara por medio de camiones.

- Evento climático de precipitación: Para representar este evento climático se construyó un Modelo Digital de Elevación (MDE) para el sector de análisis, con el fin de reproducir de forma sintética la topografía del sector. La información de base que se utilizó para realizarlo fueron las curvas de nivel.

- Escenario Complejo

Escenario de Obras de la Universidad Nacional de La Plata en el predio del ex BIM

La reconversión del BIM como facultades para la UNLP genera en movimientos directos vinculados a estudiantes, docentes y no docentes de 20.000 personas, que se reparten en distintas bandas horarias y días.

Este movimiento se representa en el modelo con una mayor demanda de residencia por medio de alquiler de vivienda. Demanda de comercios y servicios asociados al movimiento de las actividades de las facultades. (Gastronomía, kiosco, transporte).

En referencia a los datos de población obtenidos para el periodo, intercensal 2001 / 2010 y recortando su análisis en el sector observamos que el crecimiento fue relativamente bajo (menor al 5 %) El sector albergaba en el Censo 2001 un total de 19078 habitantes, mientras que en el Censo 2010 se incrementó a 20031 habitantes.

En función de lo anterior, se explica brevemente como variaría para cada zona de cada municipio el escenario actual y un posible escenario futuro, verificándose la modificación de los mismos por intervención de la variable temporal:

Tabla 1 - Ensenada. Datos de zonas

| | | |
|---|--|---|
| <p>Zona El Dique - Distrito Corredor Comercial / EDDCC</p> | <p>Escenario actual: Alto grado de ocupación, mayor al 90 %. Usos definidos por su vinculación a la vía regional Av. 122, comercio de carácter regional y vivienda.</p> | <p>Escenario futuro: Ocupación tendiente al 100%. Aumento de densidad, transformación de lotes en vivienda multifamiliar, residencial de media densidad. Bajo porcentaje (por competencia con otros usos).</p> |
|---|--|---|

Fuente: Elaboración propia sobre datos de UrBASig. Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial. Subsecretaría de Gobierno. Ministerio de Gobierno

Tabla 2 – La Plata. Datos de zonas

| | | |
|--|---|---|
| <p>Zona Urbano Comercial 3 / U/C3 (sobre Av. 122)</p> | <p>Escenario actual: Alto grado de ocupación, mayor al 90 %. Usos definidos por su vinculación a la vía regional Av. 122, comercio de carácter</p> | <p>Escenario futuro: Ocupación tendiente al 100%. Aumento de densidad, transformación de lotes en vivienda multifamiliar, residencial de media densidad.</p> |
|--|---|---|

| | regional y vivienda. | Bajo porcentaje (por competencia con otros usos) |
|--|---|--|
| Zona Urbano Comercial 3 / U/C3 (por fuera de Av. 122) | Escenario actual: Alto grado de ocupación, mayor al 90 %. Usos residenciales de baja densidad. Vivienda unifamiliar. Crecimiento intercensal superior al 20% | Escenario futuro: Ocupación tendiente al 100%. Aumento de densidad, transformación de lotes en vivienda multifamiliar (gentrificación) En estas zonas se estima un crecimiento superior al 30%. |
| Zona Urbano Residencial 1 / U/R1 | Escenario actual: Alto grado de ocupación, mayor al 90 %. Usos residenciales de baja densidad. Vivienda unifamiliar. | Escenario futuro: Ocupación tendiente al 100%. Aumento de densidad por proceso de gentrificación. Mantiene uso residencial competencia entre unifamiliar y multifamiliar (dependiendo cercanía a predio). |

Fuente: Elaboración propia sobre datos de UrBASig. Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial. Subsecretaría de Gobierno. Ministerio de Gobierno

Este aparente bajo crecimiento se puede entender así dado que el índice de ocupación del sector es alto, pero este aparente estancamiento muestra comportamientos diversos relacionados a su localización. Las zonas linderas a la vía regional de 122 se observaron decrecimientos poblacionales de 8 a 10 % mientras que al alejarse se detectaron zonas con crecimientos entre 8 al 12%. Se puede inferir que sobre la red vial se está engendrando un proceso de evolución donde los usos Residenciales se transforman en Usos Comerciales.

Escenario de Reconversión del Puerto La Plata con La Nueva Terminal de Contenedores

El desarrollo de esta actividad demanda un movimiento diario de aproximadamente 1000 camiones, los cuales disputan la calzada con el tránsito congestionado que exhibe la región.

Se debe tener en cuenta que se ha obtenido información de tránsito medio diario anual para la región con fecha 2008/2009, de la Dirección Provincial de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, solo para algunas arterias troncales. Además se tuvo en cuenta para la construcción del escenario que, hasta el momento no se han realizado obras que aumenten la superficie de calzada, (aún cuando se completó AURPNº 6, se realizó un tramo del tercer carril de la AU LP-BSAS o se trabaja en la ampliación del camino Rivadavia.) al momento en el sector solo se han realizado obras de mantenimiento en Av. 122 de Av. 60 a la subida de la Autopista LP-BS AS. Av. 66 desde Av. 122 a Calle Montevideo y se han comenzado las demás obras propuestas.

Esta variable, posee múltiples implicancias en el territorio, de las cuales una de sus manifestaciones es el movimiento de contenedores que se realizará por medio de camiones que se estima en un movimiento diario de aproximadamente 1000 camiones, que utilizan las vías de comunicación existente, complejizando la situación del tránsito congestionado que exhibe la región.

En la corrida del modelo del escenario de la reactivación del puerto, con las condicionantes que se desprenden de esta actividad, se observa un aumento del tráfico en la vías regionales, en especial las que vinculan el Puerto con la Av. 122, sobre esta un aumento de la congestión, dado que al movimiento habitual se suma el tránsito pesado que busca en mayor proporción la vinculación con la Autopista La Plata Buenos Aires. Cabe mencionar que la concreción de la AURPNº 6 genera una segunda opción para el movimiento de cargas, circulando por zonas consolidadas del partido de La Plata por la Av. 520, pero con una distancia de recorrido mayor a la que tiene la propuesta anterior.

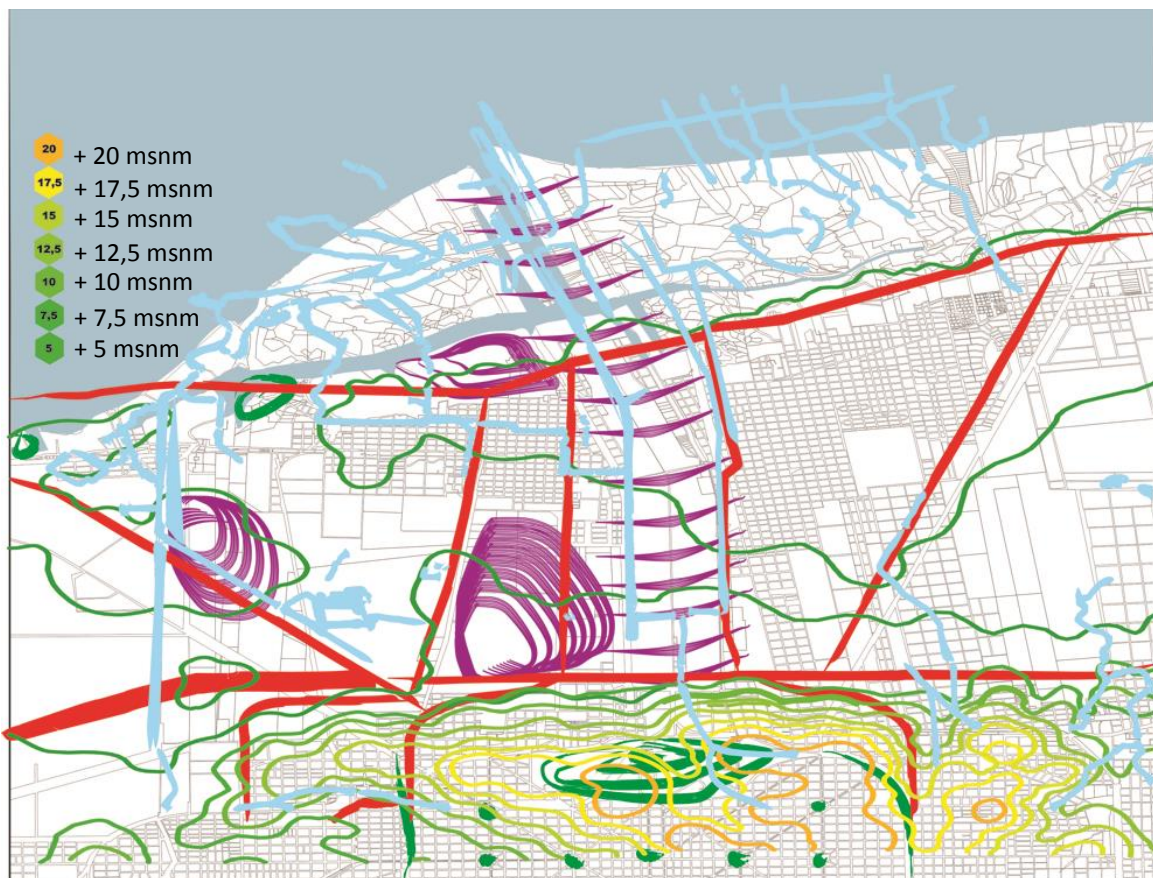
Un efecto del aumento de la congestión sobre las vías regionales, es el aumento de tráfico en las vías urbanas principales que también tienden a congestionarse.

La interpretación posterior de los resultados emergentes del Modelo, permitió inferir que dentro de estas cuestiones trabajadas que el Tránsito Medio Diario es el factor detonante de las variaciones dentro del modelo.

Escenario de Evento Climático de Precipitación

Luego de definir las variables estables e inestables, se procedió a generar la Prueba Piloto, a partir de la realización de comparativas entre los indicadores elegidos en el proceso de investigación determinando las fortalezas o debilidades de cada uno de los sistemas y las interrelaciones entre los diferentes factores estudiados, desde los propios resultados de la modelización hasta las características urbanísticas actuales de los municipios y las posibilidades futuras.

Figura 3. Modelo de Corrida de Escenario INUNDACION



Fuente: Elaboración propia sobre datos de UrBA sig. Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y

Es un contexto de escenario de riesgo donde por un evento climático de precipitación importante, se puede por medio de las herramientas de acumulación de flujo detectar los sectores donde confluye el agua buscando los canales superficiales de la cuenca, descargando hacia el bañado y al Río de la Plata. Esta dinámica permite evaluar que las viviendas que estén cercanas a la zona de acumulación de flujo tendrán un mayor riesgo de inundación debido a la cercanía de su localización. La generación de este tipo de escenarios suma la posibilidad de detectar vías de comunicación -calles o avenidas -de importancia que se vean afectadas por el evento y posibles caminos de acceso a sectores afectados por el mismo.

Escenario Complejo

Se considera la interacción entre el soporte natural, Topografía, Riesgos, Desastres Naturales, impactos de tipo ambiental, territorial, funcional, económico, social y cultural, generados por un conjunto significativo de proyectos, que deben ser considerados al momento de configurar el escenario complejo.

Respecto al camino comunicacional utilizado, se trata de una primer definición, que explora iconografía y variables visuales que permitirán avanzar en diseñar protocolos de transferencia de un camino comunicacional propio de la disciplina planificación y el ordenamiento urbano territorial, aplicable al modelo y generalizable a la representación de la escala urbana.

Dentro de los aportes del proyecto se planteó en particular generar un avance en una temática que no ha sido muy desarrollada, como es el campo de la expresión gráfica de la escala urbana en general.

Conclusiones

Combinando el enfoque temporal del Modelo de Dinámica de Sistemas con el potencial espacial de la georreferenciación de datos del Sistema de Información Geográfica, se espera un impacto positivo en la escala local y regional, por la mejora y optimización del manejo de la información a través de simulaciones y modelizaciones que permita modificar las políticas y oriente en la toma de decisiones de los gobiernos locales.

Por tratarse de un proyecto en desarrollo se presenta el estado de avance de la cuestión cartográfica, que se ha realizado para cada momento del desarrollo del Modelo. Se trata de una primer definición, que explora iconografía y variables visuales que permitirán avanzar en diseñar protocolos de transferencia de un camino comunicacional propio de la disciplina planificación y el ordenamiento urbano territorial, aplicable al modelo y generalizable a la representación de la escala urbana. Se espera, en el avance del proyecto aportar en el campo de la expresión gráfica de la escala urbana en general.

Bibliografía

CRISTIAN HENRÍQUEZ et al. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles. *Revista de Geografía Norte Grande* 2006, (36): 61-74.
CRISTIAN HENRÍQUEZ et al. Monitoring and modeling urban growth in a developing country: the case of mid-cities of Chillan and Los Angeles, Chile. *Hábitat International* 2006, 30: 945-964.
CRISTIAN HENRÍQUEZ RUIZ; GERALDO AZÓCAR GARCIA (2007), Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. *Scripta Nova. Revista Electrónica de*

- Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. XI, núm. 245 (41). <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-24541.htm>> [ISSN: 1138-9788]
- CRISTIAN HENRÍQUEZ y GERARDO AZÓCAR (2007), Patrones de crecimiento en ciudades intermedias chilenas y su impacto en la sustentabilidad urbana. *Cidades Médias: espaçosemtransição*. M. BELTRÃO. Presidente Prudente, CIMPEDE. En prensa.
- DELGADO GUTIERREZ, y JOSÉ ALFONSO (2002) *Análisis Sistémico: Su aplicación a las comunidades humanas*. Cie Dossat 2000 Madrid.
- JAY WRIGHT FORRESTER (1968) *Principles of Systems*. Wright-Allen Press.
- Jea-Yves BÜCH (2009) *Gestión del Conocimiento*. Ed. AENOR. Madrid Cantón, I. Las tecnologías como utopía en la Sociedad de la Información y del Conocimiento y su Incidencia en las Instituciones Educativas.
- JHON STERMAN (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. NY: McGraw-Hill Higher Education.
- JOSÉ BARREDO et al. (2006) *Urban scenario modeling and forecast for sustainable urban and regional planning*. GIS for Sustainable Development. M. CAMPAGNA. Boca Raton, CRC Press, Taylor & Francis Group. 2006: 329-345.
- JUAN MARTÍN GARCÍA (2004). *Sysware* ISBN 84-609-2462-9
- LLUIS CUATRECASAS ARBÓS (2000) *Organización de la producción y dirección de operaciones*. Ed. Cera. Madrid.
- OSEAR JOHANNSEN (1975) *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. Facultad de Economía y Administración. Universidad de Chile.
- PERE MARQUÈS GRAELLS (2008) *Las TIC y sus aportaciones a la Sociedad*.
- PETER CHECKLAND (1999). *Systems Thinking, Systems Practice: A 30-Year Retrospective*.
- PETER SENGE (2000) *La danza del cambio*. Ed. Gestión 2000. Madrid.
- RODRÍGUEZ & ARNOLD. *Sociedad y Teoría de Sistemas*. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 1991.

Arq. Augusto Avalos

Arquitecto (FAU/UNLP). Ayudante de Curso Diplomado (FAU/UNLP). Profesor de Posgrado en FAU UNLP, del Programa de Capacitación en SIG en entorno Aula Cavila, de Cursos IPAP para personal del estado provincial. Investigador del Programa de Incentivos categoría V, integrante del Proyecto Acreditado UNLP: "Estudio de Escenarios Complejos en el Gran La Plata aplicando Modelos de Dinámica de Sistemas" -2015/2018. Ha publicado en numerosos libros, revistas, artículos y ponencias en Eventos Científicos. Desempeña cargos como profesional en la administración pública provincial.

Esp. Arq. Claudia Rodríguez

Arquitecto y Especialista en Ciencias del Territorio (FAU/UNLP). Ayudante de Curso Diplomado (FAU/UNLP). Profesor de Posgrado en FAU UNLP, del Programa de Capacitación en SIG en entorno Aula Cavila, de Cursos IPAP para personal del estado provincial. Investigador del Programa de Incentivos categoría V, integrante del Proyecto Acreditado UNLP: "Estudio de Escenarios Complejos en el Gran La Plata aplicando Modelos de Dinámica de Sistemas" -2015/2018. Ha publicado en numerosos libros, revistas, artículos y ponencias en Eventos Científicos. Desempeña cargos de Dirección en la Gestión Pública Provincial.

Esp. Arq. Andrea Ulacia

Arquitecto y Especialista en Ciencias del Territorio (FAU/UNLP). Profesor Adjunto Ordinario Cátedra de Sistemas de Representación (FAU/UNLP). Profesor de Posgrado en FAU UNLP, del Programa de Capacitación en SIG en entorno Aula Cavila, de Cursos IPAP para personal del estado provincial.

Investigador del Programa de Incentivos categoría III y Directora del Proyecto Acreditado UNLP: “Estudio de Escenarios Complejos en el Gran La Plata aplicando Modelos de Dinámica de Sistemas” - 2015/2018. Ha publicado en numerosos libros, revistas, artículos y ponencias en Eventos Científicos. Desempeña cargos de Dirección en la Gestión Pública Provincial.

Arq. María Beatriz Sánchez Arrabal

Arquitecto (FAU/UNLP). Jefe de Trabajos Prácticos (FAU/UNLP). Investigador del Programa de Incentivos categoría III y Codirectora de los Proyectos Acreditados UNLP: “Estudio de Escenarios Complejos en el Gran La Plata aplicando Modelos de Dinámica de Sistemas” -2015/2018 y “Formulación de lineamientos estratégicos e ideas proyecto para la Región Capital y sistema de indicadores de desarrollo sostenible urbano-territorial”. Ha publicado en numerosos libros, revistas, artículos y ponencias en Eventos Científicos. Desempeña cargos de Gestión en la Dirección de Asuntos Municipales de la UNLP.

11. Materiales y técnicas de construcción sustentable

"Análisis de resistencias térmicas de muros exteriores en cinco locales, empleo de productos en base a hormigones que incorporan residuos"

Julia Elena C. Plaza¹, Marina González², Marta E. Yajnes³, Susana Caruso⁴

Resumen

El objetivo de este trabajo es exponer los resultados de la aplicación de las Normas IRAM de Acondicionamiento Térmico de Edificios y Etiqueta de Eficiencia Energética de Calefacción en el análisis de muros de bloques y placas de hormigón con material reciclado aptos para uso en emprendimientos sociales y generación de empleos verdes. El análisis se realiza con un software para el cálculo de Transmitancia Térmica, cuyos valores determinan el Nivel de Etiquetado de Eficiencia Energética. Se propusieron 5 sectores del país, geográficamente distantes, de manera de obtener resultados que contemplaran situaciones extremas de temperaturas. La intención es obtener la mejor alternativa constructiva que alcance el nivel de Eficiencia Energética A, además se plantea un promedio entre el nivel aceptable (B) y el nivel óptimo (A), determinando una situación intermedia de espesor de aislación, siendo ésta la variable a modificar, respondiendo a requerimientos económicos posibles de inversión en la construcción.

Palabras clave: arquitectura ambientalmente consciente, eficiencia energética, acondicionamiento térmico de edificios.

Analysis of thermal resistance in exterior walls in five locations based on concrete incorporating waste.

Abstract

The aim of this paper is to present the results of the application of IRAM thermal conditioning of Buildings and Energy Efficiency Label Heating in analyzing concrete block and boards walls with recycled material suitable for use in social entrepreneurship and generation of green jobs. The

^{1 a 4} Centro Experimental de la Producción, CEP FADU UBA Int. Guiraldes 2160 Pab III, Ciudad Universitaria, CP 1428 CABA Argentina. Tel/fax: +54-1-49910465. e-mail: meyarch@gmail.com

analysis is performed with software for calculating thermal transmittance, whose values determine the level of energy efficiency labeling. 5 sectors of the country, geographically distant, in order to get results that contemplate temperature extremes were proposed. The intention is to obtain the best constructive alternative to reach the level of Energy Efficiency In addition an average between the acceptable level (B) and the optimal level (A) arises, determining an intermediate status of insulation thickness, this being the variable to change, responding to potential economic investment requirements in construction.

Keywords: environmentally conscious architecture, energy efficiency, buildings thermal conditioning.

Introducción

El hormigón es el material de construcción más empleado en el mundo gracias a sus excelentes propiedades: durabilidad, resistencia y adaptación a los moldes. Su uso produce grandes costos medio ambientales como cantidad de energía consumida para extracción, acarreo, fabricación y traslado de sus componentes. El poliestireno expandido (EPS) es uno de los residuos de construcción y demolición más perjudiciales para el medio ambiente, ya que no es un material que biodegradable. Actualmente solo una empresa que recicla exclusivamente EPS, SIRPLAST, con un promedio de 25 toneladas mensuales de EPS, lo cual es equivalente a 50 camiones de 18 mts cada uno, material que antes se descartaba en los Rellenos Sanitarios y hoy es reconvertido en materia prima y devuelto al mercado del plástico como Poliestireno. Datos del año 2013 revelaron que aproximadamente 650.000 embalajes circulaban por mes lo que representaría aproximadamente a 19.000 m³. Aprovechando que este material contiene grandes cantidades de aire que ocupan mucho espacio a pesar de su pequeño peso, contribuye a ganar mayor liviandad en el bloque de hormigón (**Figura 1**).

También otros residuos urbanos tales como papeles de bolsas de cemento, cales, adhesivos, aditivos, cajas de cartón de revestimientos y cajas de griferías y equipamiento son arrojados diariamente a los volquetes, teniendo como destino final los rellenos sanitarios donde generan gases de efecto invernadero. Además existen otros Residuos Sólidos Urbanos (RSU) como vasos y cartulinas de polipapel y etiquetas de papel descartadas por embotelladoras que no se reciclan en la CABA. Todos estos residuos de papel y cartón son aprovechables para su uso en hormigones. De acuerdo a la Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (AFCP) en 2013 se despacharon en la CABA 199.044 toneladas embolsadas (3.980.880 bolsas de 50 kg). Cada bolsa pesa 200 gramos, sumando 796.176 kg al año. Según encuesta propia a un Hipermercado de Construcción local, el cemento solo representa el 16,55% del total de ventas de productos embolsados.

Por otro lado, el cascote, llamando así a todos los residuos inertes de superficies ásperas y rugosas, de forma irregular, provenientes de los deshechos de construcción, remodelación y/o demolición, también causa un importante impacto ambiental a tener en cuenta dentro de los que se consideran Residuos de Construcción y Demolición. En nuestra área se estima que aproximadamente 14 empresas cascoterías mueven un volumen de 22.900 m³ equivalente a entre 32.000 y 39.000 toneladas por mes, que provienen todos en un solo predio en CABA con el alto gasto

Figura 1. Preparación de Hormigón con EPS



Fuente: Imagen tomada por el autor

ambiental de traslados que ello implica, mientras que hay aún un volumen no mensurado que tiene destinos no formales.

Objetivos

- Verificar el aporte a la Resistencia térmica de componentes constructivos de bloques que incorporan en su composición el uso de EPS, proveniente de deshechos de embalajes de electrodomésticos, de obra e industria farmacéutica por ejemplo, y el uso de cascote proveniente de residuos y de placas que incorporan diferentes papeles y otras fibras y que tiene por objetivos;
- Aumentar la propiedad de aislación térmica de productos de construcción; Contribuir a una producción ecológica y económica por el reciclaje de materiales que responda satisfactoriamente al contexto social donde se busca su inserción; Obtener bloques y placas más livianas que los elementos convencionales del mercado con sus mismas dimensiones.

Hipótesis

Es posible desarrollar componentes constructivos que aporten significativamente a la resistencia térmica de componentes constructivos a partir de la utilización de Residuos de Construcción y Demolición y Residuos Sólidos Urbanos. RSU

Metodología

Descripción de productos

En el proyecto de inserción de este análisis se desarrollaron distintas fórmulas utilizando EPS molido y cascotes fraccionados mezclados con ligantes como cementos, cales o yesos para aplicar a Materiales Constructivos durables, económicos, de bajo peso y con buena aislación térmica, reduciendo el impacto ambiental que produce la fabricación tradicional de bloques, ladrillos y revestimientos. (Figura 2)

Composición del Bloque:

- Tricapa exterior MC 1:3 con cerecita 10% del agua 1 cm

- Alma Hormigón EPS TRP N° 1 densidad aprox. 1000 kg/m³ 1:1:1:3,75 dosificación cemento, arena y cascotes con medición en kilos y EPS con medición en litros consumo por m³ de cada uno 300 kilos y EPS litros 1125 por m³., - Interior MC 1:3 con cerecita 0,5 cm. (Figura 3)

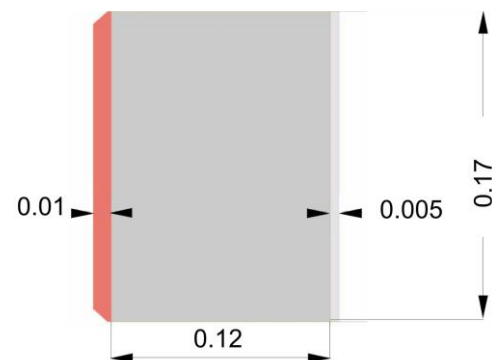
Placa de papel cemento interior: Para su fabricación se utiliza papel reciclado y fibras naturales mezcladas con una

Figura 2. Bloque de Hormigón con EPS con terminación



Fuente: Imagen tomada por el autor

Figura 3. Esquema de perfil del bloque con acotaciones



Fuente: Esquema realizado por el autor

Figura 4. Placas de papel cemento



Fuente: blog papel cemento. CEP

pequeña proporción de ligantes como cemento, cal o arcilla. Resultando un material constructivo durable, económico, de bajo peso y con buena aislación térmica, reduciendo significativamente el impacto ambiental que produce la fabricación tradicional de bloques, ladrillos y revestimientos (**Figura 4**)

Se espera que estas mezclas puedan ser utilizadas para autoconstrucción y planes de vivienda social contribuyendo a la disminución del CO2 producido por la Construcción, generando empleo y conciencia ante el reciclado de materiales.

Aplicación de Software y Normas IRAM

La aplicación del software de Isover, facilitará el análisis del comportamiento de un muro exterior con este bloque considerando distintos sectores del país. La composición del Muro analizado consiste en: un revestimiento interior de placa de papel cemento (papel reciclado y fibras naturales mezcladas con una pequeña proporción de ligantes), una barrera de vapor, una aislación térmica de lana vidrio, una capa de mortero, y los bloques con una terminación exterior de una capa mortero de color incorporado en el proceso de fabricación del bloque. De esta manera se podrá analizar que este cerramiento, para responder satisfactoriamente y proporcionar el confort adecuado en el interior, considerando una vivienda unifamiliar, requerirá de la incorporación de un material aislante como la Lana de vidrio.

Se implementa la Norma IRAM 11603:1996 “*Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*”. La cual establece la zonificación de la República Argentina de acuerdo con un criterio bioambiental, indicando las características climáticas de cada zona. La Norma IRAM 11549 “*Aislamiento Térmico en Edificios. Vocabulario*” de la cual se seleccionaron de la Norma los conceptos relevantes que se aplican al análisis del muro desarrollado en este informe. (**Tabla 1.** Definiciones relativas a características térmicas de materiales y elementos constructivos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Norma IRAM 11549:2002).

La Norma IRAM 11601 “*Aislamiento Térmico en Edificios. Método de Cálculo*” que establece los valores y los métodos fundamentales para el cálculo de las propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.

Resistencia Térmica:

1. *Capas Homogéneas*: La resistencia térmica de una capa homogénea de material sólido, R, en metro cuadrado kelvin por watt, se calcula mediante la fórmula siguiente: $R = e/\lambda$
2. *Resistencia Térmica de un Componente y Componentes formados por diversas capas Homogéneas*: La resistencia térmica de un componente plano formado por diversas capas homogéneas perpendiculares al flujo de calor se calcula mediante las fórmulas siguientes:
 - a) *entre ambas caras, Rt* : $R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{c1} + R_{cn}$
 - b) *de aire a aire, RT* : $R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$; Los valores R_{si} y R_{se} se obtienen de **Tabla 2.** Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Norma IRAM 11601:2002.

3. *Cámaras de Aire*: Los valores de resistencia térmica de cámaras de aire (RC) están indicados en la **Tabla 3**. Resistencias Térmicas de cámaras de aire no ventiladas, en las cuales las medidas superficiales son mucho mayores que el espesor (1)

Transmitancia Térmica:

La Transmitancia térmica de un elemento constructivo, de aire a aire, es la inversa de la resistencia térmica total, es decir: $K = 1 / RT$

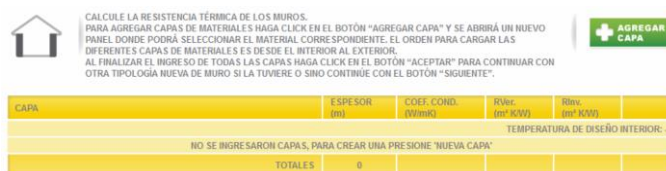
Conductividad Térmica (Λ):

Los valores dados en la **Tabla 4**. Conductividades Térmicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Norma IRAM 11601:2002, para una determinada densidad, deben considerarse genéricos, dado que existen variaciones de conductividad térmica de acuerdo con la composición del material y también según sea la tecnología de producción utilizada.

Planilla de Cálculo:

A los efectos de ordenar y facilitar los cálculos necesarios para la obtención del valor de la Transmitancia térmica de un componente, se incluye en la **Tabla 5** (IRAM 11601) una planilla de cálculo, acompañada con las correspondientes referencias para su correcta utilización. La empresa Isover desarrollo el software en base a la planilla de cálculo propuesta por las Normas IRAM. (**Figura 6**)

Figura 6. Software Isover



Fuente: Imagen tomada de software Isover

Niveles de Confort Higrotérmico:

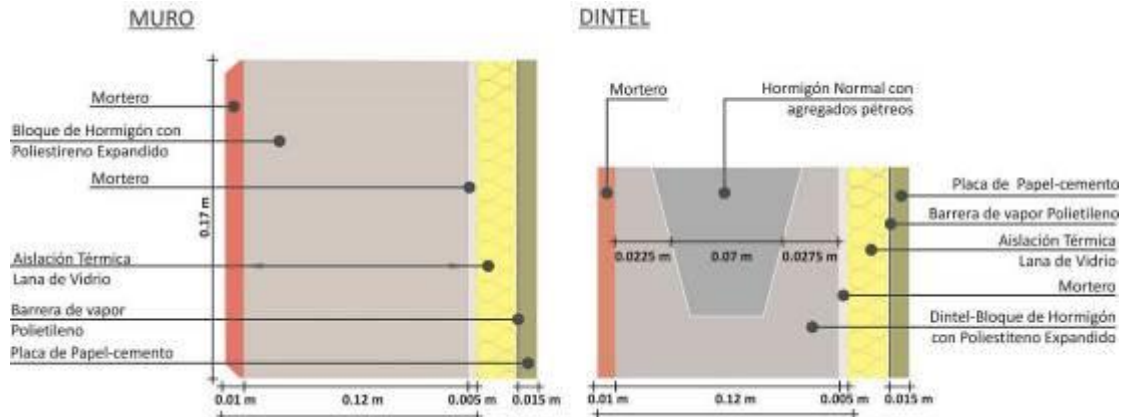
La Norma IRAM 11605 *“Aislamiento Térmico en Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Edificios”* establece tres niveles diferentes, los cuales corresponden en grado decreciente a condiciones de confort higrotérmico. Para invierno **Tabla 6**. Valores de KMAX ADM para condiciones de Invierno y para verano **Tabla 7** Valores máximos de Transmitancia térmica para condiciones de Verano para muros. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Norma IRAM 11605:1996.:

- a) NIVEL A: RECOMENDADO
- b) NIVEL B: MEDIO
- c) NIVEL C: MÍNIMO

Esquema Constructivo:

En el siguiente esquema se representa el detalle constructivo a nivel de corte del muro y corte del dintel (**Figura 7**).

Figura 7. Esquemas de corte.

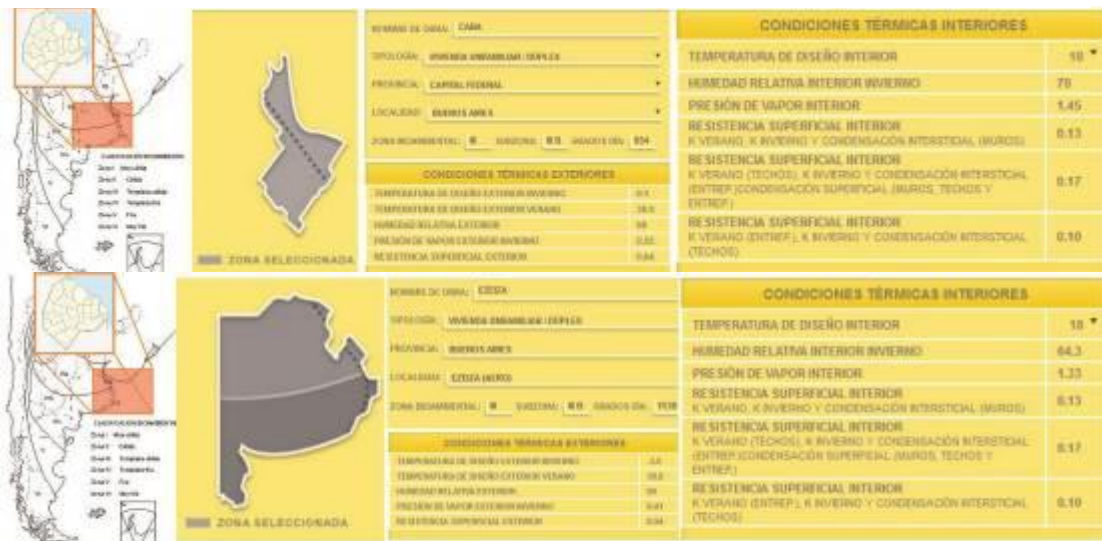


Fuente: Esquemas realizados por el autor.

Resultados

A continuación se exponen las tablas con resultados de software Isover con mapa de ubicación del sector analizado y tablas resúmenes con relaciones propuestas (**Figuras 8a, b, c, d, e**).

Figura 8a. Tablas Isover CABA-Aeroparque.



| BS. AS. EZEIZA | Diseño según norma IRAM | Relación % DIFER. / TIPO | K | | Relación % K adm. / K adm. | Relación % DIFER. / TIPO | K | | Relación % K adm. / K adm. | MURO |
|----------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|------|
| | | | real Verano w /m2 k | adm. Verano w /m2 k | | | real invierno w /m2 k | adm. Invierno w /m2 k | | |
| NIVEL A | T | 1.09 | 0.41 w /m2 k | 0.50 w /m2 k | 0.8 | 1.07 | 0.26 w /m2 k | 0.32 w /m2 k | 0.8 | |
| | D | | 0.45 w /m2 k | | | | 0.28 w /m2 k | | | |
| NIVEL A/B | T | 1.13 | 0.46 w /m2 k | 0.67 w /m2 k | 0.5 | 1.09 | 0.33 w /m2 k | 0.59 w /m2 k | 0.55 | |
| | D | | 0.52 w /m2 k | | | | 0.36 w /m2 k | | | |
| NIVEL B | T | 0.88 | 0.52 w /m2 k | 1.24 w /m2 k | 0.4 | 1.09 | 0.41 w /m2 k | 0.86 w /m2 k | 0.47 | |
| | D | | 0.59 w /m2 k | | | | 0.45 w /m2 k | | | |

Figura 8b. Tablas Isover BS.AS.-Ezeiza

Figura 8c. Tablas Isover Misiones-Iguazú.

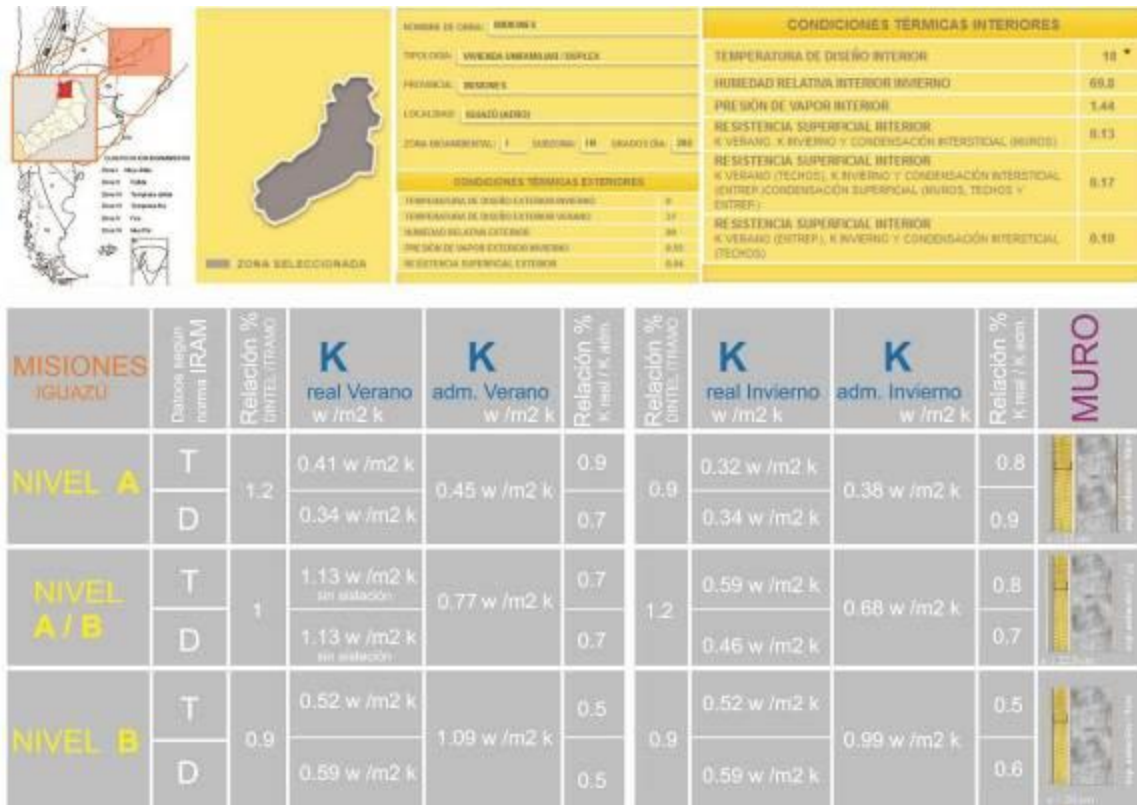
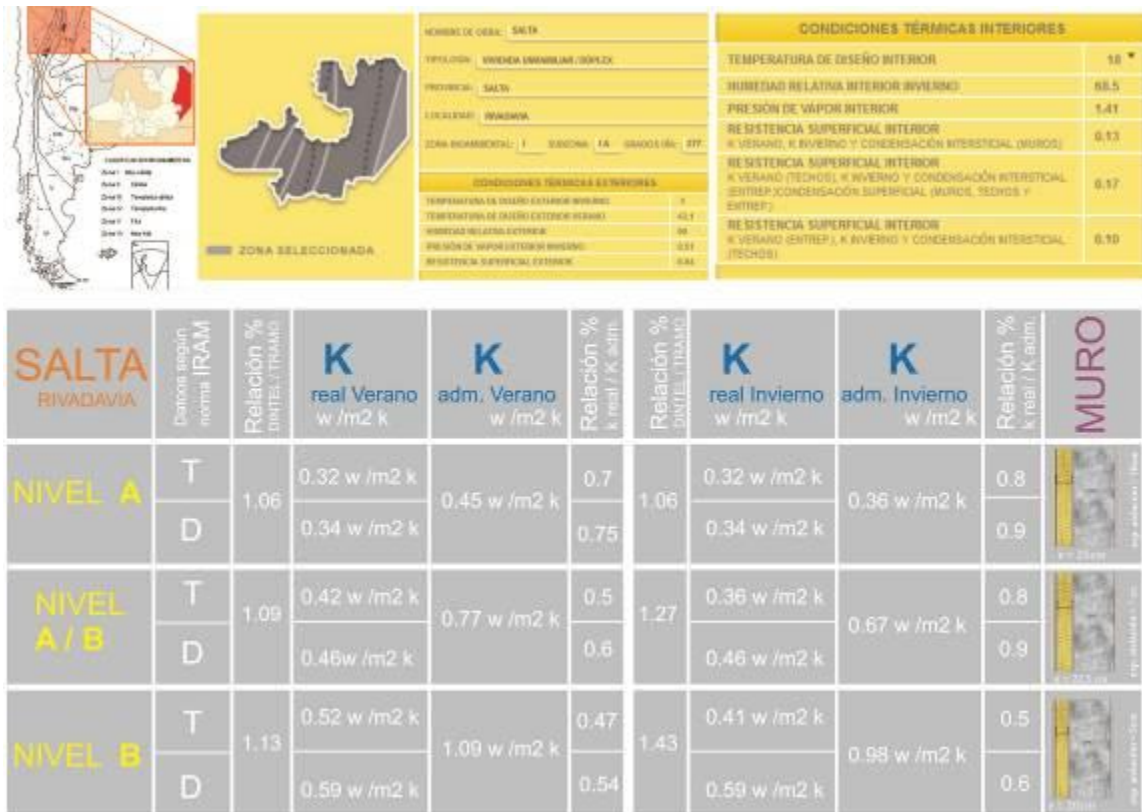
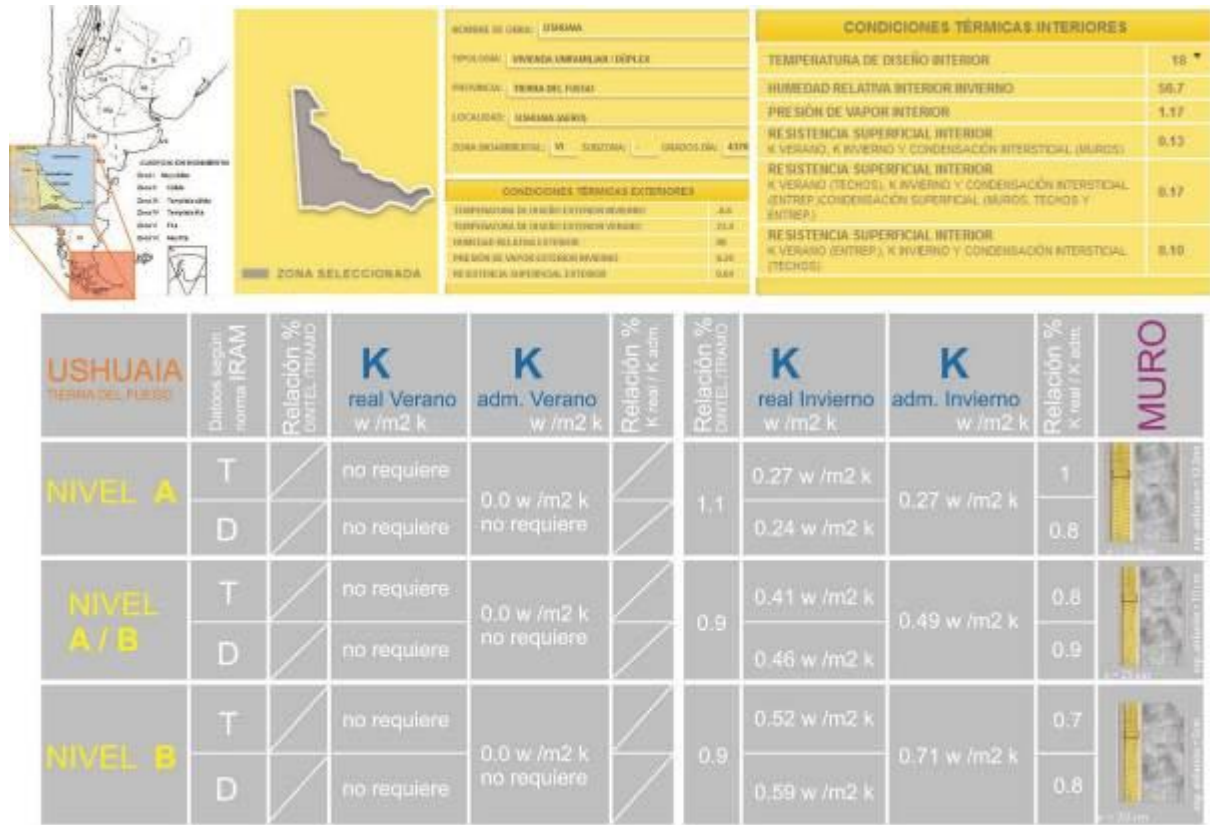


Figura 8d. Tablas Isover Salta-Rivadavia.



Fuente: Tabla realizados por el autor.

Figura 8e. Tablas Isover Tierra del Fuego-Ushuaia.



Fuente: Tabla realizados por el autor.

Conclusiones

Tabla 9. Tabla síntesis.

| | ubicación | análisis para nivel A | | análisis para nivel A-B | | análisis para nivel B | |
|---|-----------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | espesor de aislacion cm | espesor de final muro cm | espesor de aislacion cm | espesor de final muro cm | espesor de aislacion cm | espesor de final muro cm |
| 1 | CABA | 10 | 25 | 7 | 22,5 | 5 | 20 |
| 2 | BS AS | 12,5 | 27,5 | 7 | 21,5 | 5 | 20 |
| 3 | MISIONES | 10 | 25 | 7 | 22,5 | 5 | 20 |
| 4 | SALTA | 10 | 25 | 7 | 22,5 | 5 | 20 |
| 5 | USHUAIA | 12,5 | 27,5 | 10 | 25 | 5 | 20 |

| VERANO | ubicación | nivel A | | nivel A-B | | nivel B | |
|--------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | k requerido | k alcanzado | k requerido | k alcanzado | k requerido | k alcanzado |
| 1 | CABA | 0,5 | 0,4 | 0,87 | 0,57 | 1,24 | 0,52 |
| 2 | BS AS | 0,5 | 0,4 | 0,87 | 0,46 | 1,24 | 0,52 |
| 3 | MISIONES | 0,45 | 0,41 | 0,77 | 0,52 | 1,09 | 0,52 |
| 4 | SALTA | 0,45 | 0,32 | 0,77 | 0,42 | 1,09 | 0,52 |
| 5 | USHUAIA | no requiere | no requiere | no requiere | no requiere | no requiere | no requiere |

| INVIERNO | ubicación | nivel A | | nivel A-B | | nivel B | |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | k requerido | k alcanzado | k requerido | k alcanzado | k requerido | k alcanzado |
| 1 | CABA | 0,38 | 0,32 | 0,68 | 0,52 | 0,99 | 0,52 |
| 2 | BS AS | 0,32 | 0,26 | 0,59 | 0,33 | 0,86 | 0,41 |
| 3 | MISIONES | 0,38 | 0,32 | 0,68 | 0,59 | 0,99 | 0,52 |
| 4 | SALTA | 0,36 | 0,32 | 0,67 | 0,36 | 0,98 | 0,41 |
| 5 | USHUAIA | 0,27 | 0,27 | 0,49 | 0,41 | 0,71 | 0,52 |

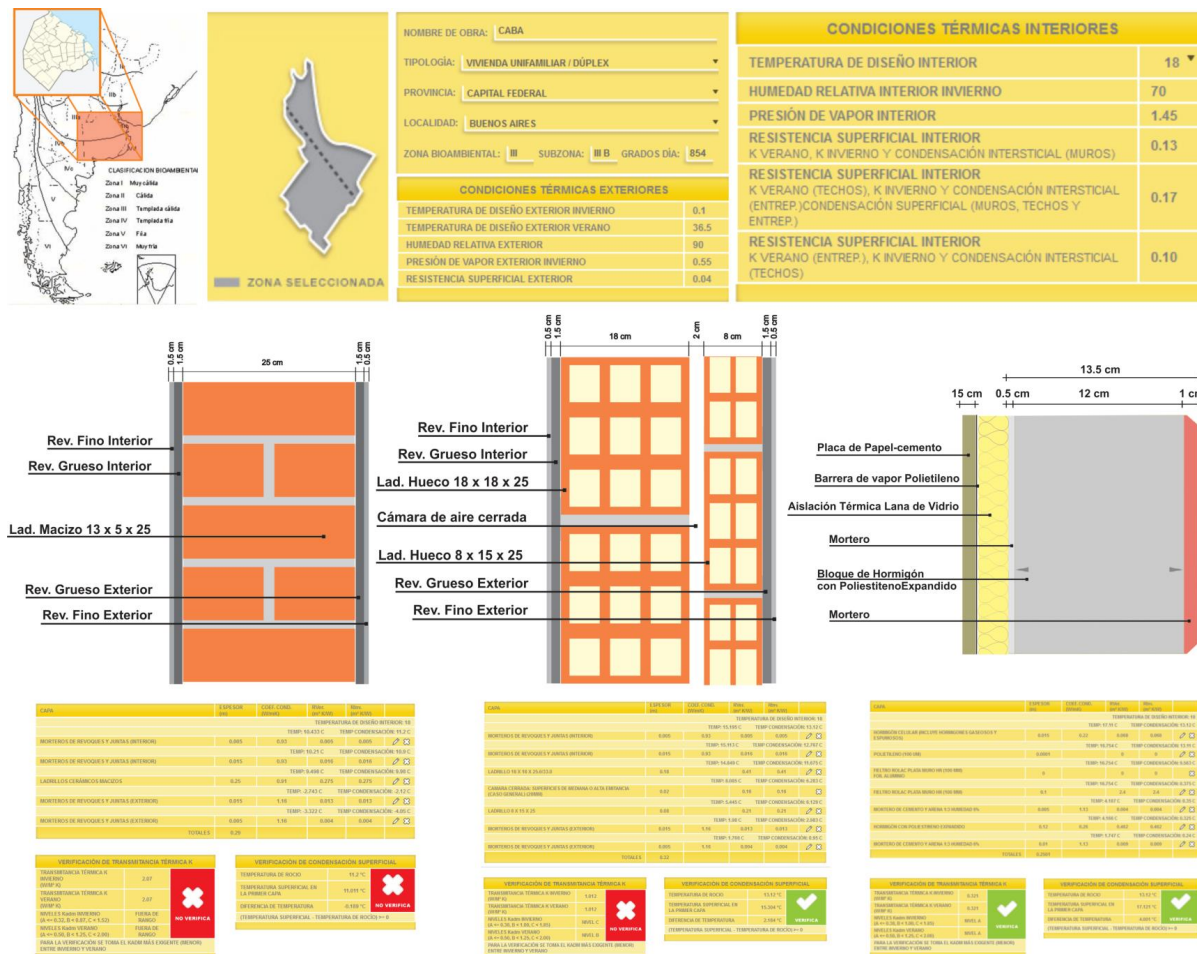
Fuente: Tabla realizadas por el autor.

Por lo tanto, a partir del análisis realizado (**Tabla 9**) a mayor espesor de la aislación mejor es el comportamiento del cerramiento alcanzando el Nivel A de Confort Higrotérmico. Pero, a su vez, siendo aceptable el Nivel B, más factible de alcanzar con espesores menores de aislación, y de esta manera no incrementando demasiado los costos de construcción. Para esto, además, se establece una alternativa promedio entre el Nivel A y Nivel B, alcanzado en cada caso; de esta manera se busca tener una opción próxima al mayor nivel de confort contemplando costos de construcción.

Con el software de cálculo se demuestran las características térmicas del bloque verificando el valor de los niveles de Transmitancia K tanto en invierno como en verano y verificando la condensación intersticial del muro en los sectores de análisis. Variando el espesor de lana de vidrio se puede comprobar que el muro puede alcanzar sin ningún otro complemento los niveles K admisibles, tomando para la verificación el K admisible más exigente, es decir, el menor, entre invierno y verano.

Incluso siendo más eficiente en comparación con muros de construcción tradicional en nuestro medio. Tomamos dos sectores como ejemplos de comparación: CABA-Aeroparque y Salta-Rivadavia. (**Figuras 9 y 10**). Por otro lado, al realizar el análisis del comportamiento térmico en muros de construcción tradicional respetando la misma cantidad de capas que el muro propuesto de hormigón reciclado podemos observar que si bien se alcanzan niveles de confort favorables el muro propuesto continúa siendo la mejor opción al obtener mejores resultados en el análisis térmico. (**Figuras 9a y 10a**).

Figura 9. Comparativa construcción tradicional y muro propuesto. CABA.



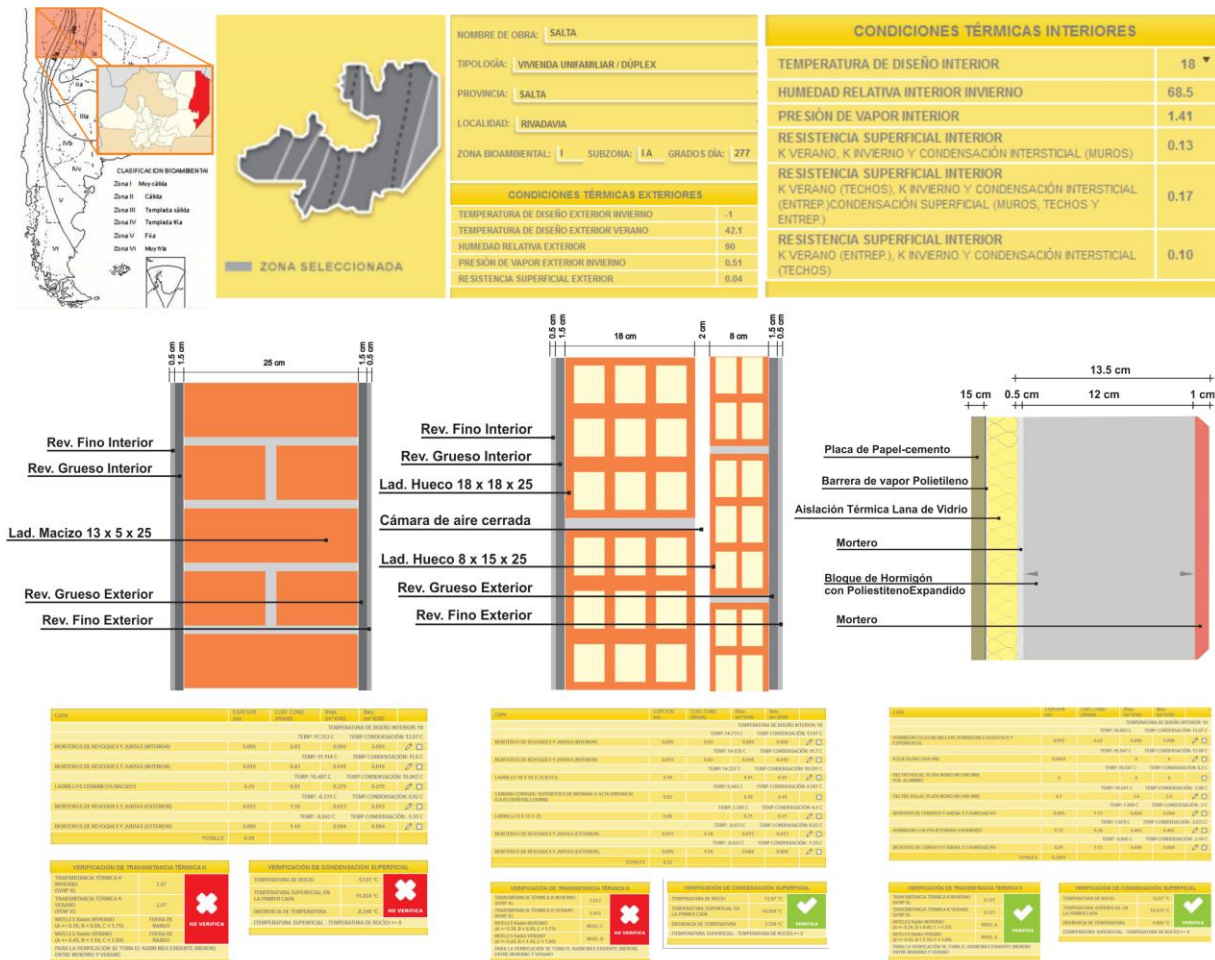
Fuente: Tablas de software Isover y esquemas del autor

Figura 9a. Comparativa construcción tradicional y muro propuesto. CABA.



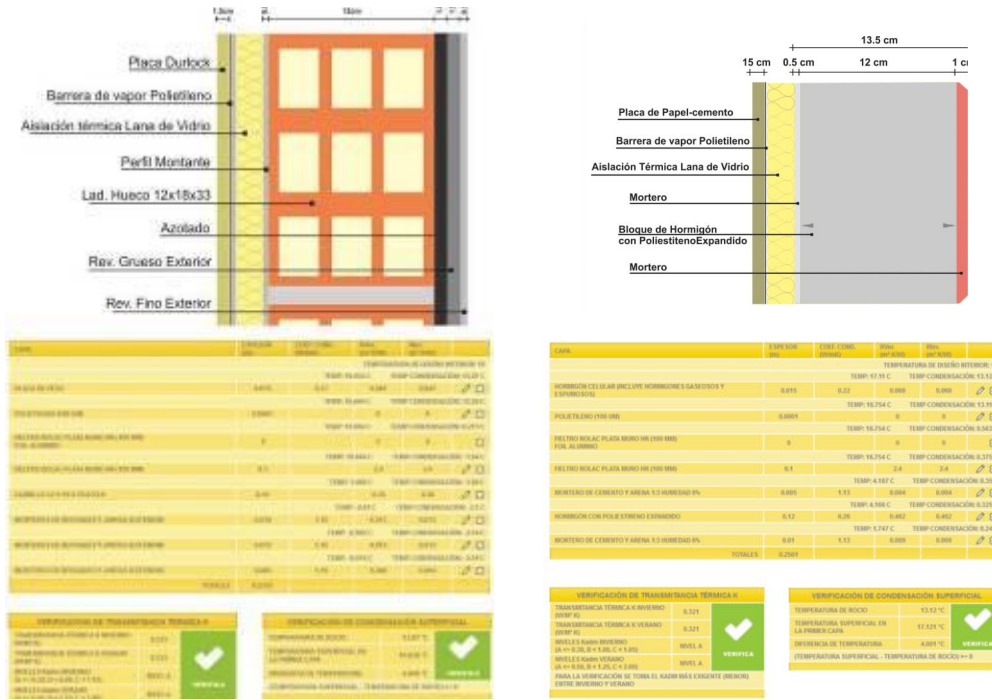
Fuente: Tablas de software Isover y esquemas del autor

Figura 10. Comparativa construcción tradicional y muro propuesto. Salta.



Fuente: Tablas de software Isover y esquemas del autor

Figura 10a. Comparativa construcción tradicional y muro propuesto. CABA.



Fuente: Tablas de software Iover y esquemas del autor

Por lo tanto, el desarrollo de productos que garanticen los requisitos térmicos de aislación en un edificio, en este caso una vivienda unifamiliar, tiene como objetivo buscar reducir el consumo de energía, que implica el acondicionamiento artificial cuando no se tiene en cuenta los condicionantes climáticos donde se emplaza la construcción. De esta manera, se contribuye a un mayor cuidado del medio ambiente y se protege la economía de los usuarios. En nuestro caso se propone además darle una segunda vida a los residuos bajo el protocolo de la cuna a la cuna. Se expone a continuación un cuadro comparativo de costos Fig. 11 para los modelos de ciudad de Buenos Aires tradicional y propuesto. Se ve allí que se reduce a un 88% el costo de la solución propuesta. Se logra fundamentalmente por el uso de residuos como insumos y la reducción de tareas de obra.

Figura 11. Comparativa costos construcción tradicional y muro propuesto. CABA. Fuente el autor

| | Construccion tradicional | Material | Mobra | Total | | Construccion propuesta | Material | Mobra | Total |
|---|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Placa interior durlock y soporte | \$ 76,7 | \$ 110,0 | \$ 186,7 | 1 | Placa papel cemento y soporte | \$ 76,7 | \$ 82,5 | \$ 159,2 |
| 2 | Barrera de vapor poliet 100 u | \$ 1,4 | \$ 0,0 | \$ 1,4 | 2 | Barrera de vapor poliet 100 u | \$ 1,4 | \$ 0,0 | \$ 1,4 |
| 3 | Lana de vidrio 100 mm | \$ 90,8 | \$ 0,0 | \$ 90,8 | 3 | Lana de vidrio 100 mm | \$ 90,8 | \$ 0,0 | \$ 90,8 |
| 4 | Hueco 12/18/33 | \$ 137,9 | \$ 160,7 | \$ 298,6 | 4 | Bloque Hormigon EPS | \$ 296,0 | \$ 200,9 | \$ 496,9 |
| 5 | Azotado | \$ 9,1 | \$ 47,7 | \$ 56,8 | | | | | |
| 6 | Revoque grueso exterior | \$ 17,7 | \$ 91,6 | \$ 109,2 | | | | | |
| 7 | Revoque fino exterior | \$ 3,3 | \$ 103,3 | \$ 106,6 | | | | | |
| | Total \$/m2 + iva | \$ 337,0 | \$ 513,2 | \$ 850,2 | | Total \$/m2 + iva | \$ 464,9 | \$ 283,4 | \$ 748,3 |

Se tomaron los valores de construcción tradicional de la Revista Vivienda, mes enero de 2016, materiales generales de sitios web y precios de productos elaborados en el centro con datos propios. Se observa que el costo de materiales en el ítem bloques de hormigón es elevado ya que incluye la mano de obra de su fabricación con baja tecnología, de momento se están perfeccionando máquinas para mejorar el rendimiento y llevar el sistema a media tecnología para reducir costos finales.

En cuando a la mejora en el valor de K no es notable dado que al trabajar con categoría A, el mayor aporte a la resistencia final lo lleva adelante el material propiamente aislante común a ambas propuestas.

Por otro lado se debe tener en cuenta que los bloques de hormigón requieren por Normas Iram, aun para muros de cerramiento de una resistencia a compresión de 2.5 Mpa, con un alto coeficiente de seguridad por dichas normas, valor alcanzado con las mezclas de hormigones propuestas para el alma de los bloques de 950 a 1000 kg/m³ y que este punto repercute en la imposibilidad de llegar a una mejor resistencia térmica.

Bibliografía

CEP ATAE FADU. Centro de Experimentación la Producción, Arquitectura y Tecnología Apropriadas a la Emergencia. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Buenos Aires. <http://cep-fadu.blogspot.com.ar/>

CEP ATAE FADU. Centro de Experimentación la Producción, Arquitectura y Tecnología Apropriadas a la Emergencia. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Buenos Aires. El camino del cascote en la ciudad de Buenos Aires. http://cep-fadu-uba.blogspot.com.ar/2015_01_23_archive.html

CEP ATAE FADU. Centro de Experimentación la Producción, Arquitectura y Tecnología Apropriadas a la Emergencia. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Buenos Aires. El camino del cascote en la ciudad de Buenos Aires. <http://papelcemento.blogspot.com.ar/>

Guillermo Enrique Gonzalo; Viviana María Nota. *Pautas y Estrategias para una Arquitectura Bioclimática*.

Norma IRAM 11603:1996 Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM. Buenos Aires.

Norma IRAM 11549 Aislamiento Térmico en Edificios. Vocabulario. Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM. Buenos Aires.

Norma IRAM 11601 Aislamiento Térmico en Edificios. Método de Cálculo. Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM. Buenos Aires.

La Norma IRAM 11605 Aislamiento Térmico en Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Edificios. Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM. Buenos Aires.

SIRPLAST, Recicladora exclusiva de Poliestireno Expandido. <http://www.labioguia.com/notas/sirplast-recicladora-exclusiva-de-poliestireno-expandido>

Bloque de hormigón liviano con agregados reciclados apto para generar una huerta vertical.

María Belén Putruele¹

Resumen

El área temática que abarca la investigación es "Materiales y técnicas de Construcción Sustentable". El objetivo de este trabajo es el desarrollo y perfeccionamiento de un bloque de hormigón liviano fabricado a partir de mezclas cementicias con agregados provenientes de Residuos Sólidos Urbanos, RSU y Residuos de Construcción y Demolición, RCD. Dicho bloque permite la incorporación de una maceta para el crecimiento vertical de huerta o plantas que sirvan a la vivienda. Estos bloques cuentan con un sistema de recuperación de agua de lluvia para riego a partir del diseño de vinculación entre ellos. Los mismos aportarán aislación térmica al muro debido a su composición que incluye agregados livianos. La metodología utilizada en primera instancia fueron varias investigaciones sobre mezclas cementicias con agregados provenientes del reciclado. Se utilizaron molidos de poliestireno expandido, triturado de cascotes, papeles y otras fibras naturales. Se realizaron siete ensayos, con los cuales se obtuvieron resultados positivos para continuar con la experimentación del bloque.

Palabras clave: Bloque Hormigón; Muro Verde; Sustentabilidad, RCD, RSU.

Lightweight concrete blocks with recycled aggregates suitable for vertical gardening

Abstract

The thematic area covered by the investigation is "Materials and techniques for Sustainable Construction". The aim of this paper is the development and improvement of a block made of lightweight concrete that includes cementitious mixtures with aggregates from USW and C&DW. This block incorporates a module suitable for vertical gardening. In addition, these blocks include an inbuilt designed system that recovers rainwater for irrigation as a result of the linkage between them. Their composition also provides thermal insulation to the walls. The methodology used in the first instance was based on previous investigations on cementitious mixtures with aggregates from recycling. The blocks include minced expanded polystyrene and crushed construction rubble. Seven prototypes were conducted, with positive results that support further investigation.

1. Introducción

En la actualidad, vivimos una contaminación globalizada, padecemos un indiscriminado uso de los recursos del cual nosotros mismos somos responsables. Dicho paradigma comenzó con el inicio de la revolución industrial y a partir de entonces ha estado vigente sin presentar mayores cambios. La contaminación masiva de ecosistemas, el aumento de los niveles de carbono en la atmósfera, la desigual distribución de la riqueza, poblaciones enteras con problemas de desnutrición, son unos de los tantos conflictos latentes que vivimos cotidianamente. Está claro, que el consumo insostenible de bienes, así como el actual modelo que rige el funcionamiento de las economías mundiales, no está mirando el futuro próximo. Todos estos factores están relacionados, y poco a poco pueden ser atacados desde distintos ejes, logrando una sustancial mejora respecto de la situación actual.

Actualmente podemos encontrar ciertas partes del mundo en donde todavía hay ausencia de políticas que aborden el reciclaje de residuos, generando serias dificultades para reutilizar o reciclar los mismos. Esto, sumado al importante crecimiento demográfico que vivimos, acarrea pronósticos devastadores para nuestro futuro si no vamos hacia un desarrollo sostenible.

Problemática de la edificación a nivel mundial

Hoy en día la edificación afecta al problema climático mundial en relación a la cantidad y calidad de desechos que generan, la utilización de energías no renovables empleadas para: la fabricación y traslado de materiales, la energía utilizada para el funcionamiento de máquinas de fraccionamiento y ensamblado en obra y la energía que necesitará el edificio para un uso con confort de sus habitantes. La edificación genera in situ una cantidad de residuos de escombros (RCD) y lo que llamamos (RSU) Residuos sólidos urbanos provenientes de embalajes de una amplia variedad de productos.

Problemática de la edificación en Argentina

Entre nuestros mayores problemas ambientales, se encuentra la incorrecta gestión de residuos en la mayoría de sus provincias, asociados a la generación, manejo y disposición final de los residuos, tanto urbanos como industriales, son cuestiones ambientales que también influyen en la construcción.

En Argentina, la historia de la gestión está relacionada con la historia de la Ciudad de Buenos Aires, que fue el mayor asentamiento humano que tuvo siempre el país. La cantidad de residuos sólidos generados y recolectados condicionan todos los otros aspectos de su gestión integral. Resulta fundamental diseñar itinerarios de recolección, el tipo de vehículos a utilizar, el diseño e infraestructura de las instalaciones de recuperación de materiales y para el dimensionamiento de los rellenos sanitarios, entre otros aspectos.

Residuos Sólidos Urbanos y Residuos de Construcción y Demolición en Argentina

En nuestro país se ha producido un considerable avance en el manejo de RSU desde la crisis del año 2001. Los cartoneros, como respuesta a una necesidad de supervivencia, comenzaron un proceso de valoración de desechos, para convertirlos en recursos, al recolectarlos, reutilizarlos y/o reciclarlos.

A partir de la expansión de este fenómeno en toda la sociedad es que surgen ONGs, Asociaciones civiles y pequeños emprendimientos que desarrollan programas para el reciclado de materiales. Algunas veces, éstas cuentan con la intervención de entes gubernamentales, profesionales y estudiantes universitarios a través de programas de extensión y vinculación con la comunidad. Algunos de los programas que se pueden nombrar son:

- Programas auspiciados por el gobierno CABA como "Producción + limpia", otorgan diferentes beneficios a aquellas empresas que realicen prácticas sustentables en su manejo de desechos.
- ONGs y asociaciones que realizan tareas docentes y de difusión en el manejo RSU incluyendo campañas de clasificación y recolección diferenciada como: UBA y Fadu Verde; Geo Fans; Arca group; Red puntos verdes; Manos verdes; Padua Recicla; Dona tu basura y Fundación Equidad.
- Recolectores RSU: Coop. CreandoConciencia; Recuperadores del Sur; Recuperadores comunales.
- Emprendimientos que utilizan residuos para fabricación de productos: Fundación Garrahan; Modesta; Dos puntos, Bop bolsos reciclados; Sirplast; Cooperativas El Ceibo, Abuela naturaleza.

La actual pasión local por la clasificación y reciclado de RSU no se ha trasladado aun masivamente a los RCD. En el área metropolitana de Buenos Aires se generan mensualmente una considerable cantidad de toneladas de residuos de obras que todavía no tienen tratamiento sustentable.

En el manejo de los RCD y para la reducción de los mismos es fundamental llevar adelante una clasificación selectiva de los residuos que se generan. Para lograr resultados económicos y ambientales satisfactorios se requiere un proceso ordenado y eficiente de reciclado. Es conveniente aplicar los mismos criterios de clasificación que han resultado eficientes en el manejo de RSU. Según Mercante (2008):

"Los residuos no forman parte de la cultura de la obra, es importante que la Cámara de la Construcción se involucre en la gestión de residuos, se requiere crear una base de datos que contenga índices de generación para cada tipo de obras a fin de planificar la gestión intraedificacional, tener en cuenta las responsabilidades y actuaciones que se establecen para cada agente de obra: proyectista, director, capataz, operario."

Centro de investigación

En el centro donde se realiza la investigación, se toma conocimiento de la influencia que tienen los materiales y tecnologías sobre el balance ecológico de las construcciones y se conocen las formas innovadoras de aprovechamiento de materiales, reciclaje, mejora en su uso, diferentes formas de ensamble y métodos de aplicación, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de la obra.

Actualmente se llevan a cabo distintos proyectos con el objetivo de aportar soluciones sustentables para la construcción, como el tratamiento de hormigones en base a poliestireno de diversas características y el desarrollo de diferentes fórmulas que incluyen papel reciclado y fibras naturales mezcladas con distintos ligantes como cemento, cal o arcilla y cascotes.

Todas las prácticas tienen la intención de elaborar materiales para la construcción durables, económicos, de bajo peso y con buena aislación térmica, reduciendo significativamente el impacto ambiental que produce la fabricación tradicional de bloques, ladrillos y revestimientos.

En el centro se diseña y fabrican distintos productos, aplicando hormigones livianos que incorporan agregados de reciclado en moldes sencillos. Se ha logrado ensayar en el INTI los bloques estándar a compresión. Los mismos están conformados con materiales reciclados que arrojaron resultados satisfactorios para conformar muros no portantes. Paralelamente al desarrollo de las investigaciones nombradas anteriormente y en relación a las mismas, en el centro de investigación se abordan diferentes temáticas, entre ellas:

- La vivienda como ecosistema de residuo cero, llevada a cabo con la reutilización de los residuos producidos en obra para la fabricación de la materia prima para la construcción de la misma.

- Las aislaciones como reductores de consumo satisfaciendo las necesidades básicas de viviendas y edificios, así también como el uso de eco-productos que generan empleos verdes.
- El aprovechamiento de aguas de lluvias en relación a programas GASS 013-2014 para la búsqueda de soluciones sustentables gestionados por OPS (Organización Panamericana de la Salud)
- El problema alimentario a nivel global mediante el desarrollo de huertas orgánicas en vertical y de producción familiar, teniendo en cuenta el espacio como un factor limitante.

Hipótesis

Es posible desarrollar un bloque de hormigón liviano a partir de mezclas con materiales reciclados que permitan el crecimiento vertical de una huerta, reduciendo la huella de carbono.

2. Objetivos

- Desarrollar un bloque de hormigón liviano a partir de mezclas cementicias con reciclados, que tenga la particularidad de permitir el crecimiento vertical de plantas para generar un módulo de huerta verde apuntando a un diseño sostenible. Dicho bloque deberá poseer una calidad comparable con un bloque similar realizado con materiales vírgenes, al mismo tiempo diseñando ensamble, apilamiento y encastre de bloques, pudiendo captar y aprovechar el agua para riego; y contribuyendo a la disminución de la huella de carbono al utilizar materiales reciclados.

3. Metodología

Se plantea una metodología experimental; para la cual:

- Se estudiaron productos diseñados en el centro con el objetivo de adaptarlos para su aplicación.
- Se analizaron los muros verdes existentes y sus características.
- Se adquirieron y mandaron a fabricar herramientas simples y de baja tecnología que sirvieron para el desarrollo del producto.
- Se realizó una campaña de recolección de materiales de desecho destinados a moldes y a agregados de hormigones (materiales de desecho sin un circuito definido de reciclaje)
- Se modelaron el bloque propuesto tridimensional y posteriormente se materializó con hormigón reciclado. Se diseñó el encastre y apilamiento teniendo en cuenta riego y acumulación de agua.
- Se estudiaron las capacidades de los diferentes prototipos de maceta con el objetivo de obtener el mejor espacio de cultivo posible.
- Se estudiaron y estandarizaron los moldes necesarios para el hormigonado de los bloques.
- Se estudiaron las especies vegetales que resultaron aptas para el desarrollo de la huerta verde.
- Se analizaron variantes en las terminaciones que garantizan correctas aislaciones y calidad.

Trabajos previos al Bloque Verde

En primera instancia se diseñó un bloque con hormigón liviano, incluyendo EPS (polietileno expandido) reciclado y cascote. Dicho hormigón liviano, tiene una densidad en seco de 1,0 kg/dm³ y

en comparación con otros de su especie éste se caracteriza por su bajo peso, su buen comportamiento térmico, su escasa absorción de humedad. Se combinan estas mezclas con mortero de cemento con el objetivo de terminación.

Figura 1. Bloque Ladrillón. Conformación de muro mediante encastre entre bloques y bloque maceta.



Fuente: Imágenes de producción propia.

La propuesta del bloque toma proporciones y medidas del bloque Ladrillón (ver figura 1); se le agrega un módulo a la cara longitudinal exterior que funciona como maceta. La importancia de este bloque radica en su función de huerta para la vivienda, aumentando también la superficie verde absorbente y el aprovechamiento de agua de lluvias. La idea de este bloque nace en el estudio de muros verdes.

Antecedentes y definición de Muros Verdes

Los muros verdes o jardines verticales son elementos arquitectónicos que benefician a los usuarios brindando superficie de cultivo, creando atractivo visual y mejorando la aislación térmica en edificios ya construidos. Los beneficios asociados el empleo de dichos jardines verticales son:

- Mantienen una temperatura constante, pueden reducir hasta 5 grados la temperatura interior de un edificio en verano y mantienen la temperatura en invierno generando significativos ahorros en consumos de energía eléctrica por uso de calefactores y/o aires acondicionados.
- Un m² de Muro Verde o Jardín Vertical absorbe CO² y lo transforma, generando el oxígeno requerido por una persona para vivir durante un año. Un muro verde de 30 m² atrapa y filtra hasta 20 t de gases nocivos y atrapa y procesa 10 kilos de metales pesados.
- Mejoran la calidad del aire en los edificios o lugares de trabajo propiciando mejores ambientes laborales y más productividad, atrapando el smog y gases tóxicos. Reducen el estrés, además de ser una conexión espiritual y física con la naturaleza.
- Es un aislante natural de ruido ya que absorbe y reduce sonidos de alta frecuencia, disminuyendo el ruido hasta en 10 decibeles.

Los actuales muros verdes tienen como antecedentes las enredaderas aplicadas directamente sobre muros. Los problemas que pueden generar las raíces de dichas enredaderas al fisurar revoques, fueron superados con la incorporación de mallas intermedias ya sean tramas metálicas aún en uso desde las más simples de tejido fino hasta tramas de perfiles metálicos. Existen en el mundo diversos tipos de muros verdes, con diferentes estructuras, pueden añadirse sobre el muro estructuras adicionales que soporta el peso del mismo o puede hacerse que el muro este conformado por

contenedores de plantas. Pueden dividirse según riego natural, aprovechando el agua de lluvias siempre dependiendo del clima del lugar y la especie vegetal empleada, ó según riego artificial que con sistemas que permiten abastecer al mismo. Para la confección de los muros se pueden utilizar materiales cerámicos, plásticos u metálicos, dependiendo tanto de las necesidades de la especie a albergar como del diseño empleado. Los formatos tienen variantes desde macetas individuales, como las empleadas en este trabajo, lineal que implica especies albergadas en un gran contenedor de recorrido lineal o superficial, por ejemplo medianeras o grandes fachadas (figura 2).

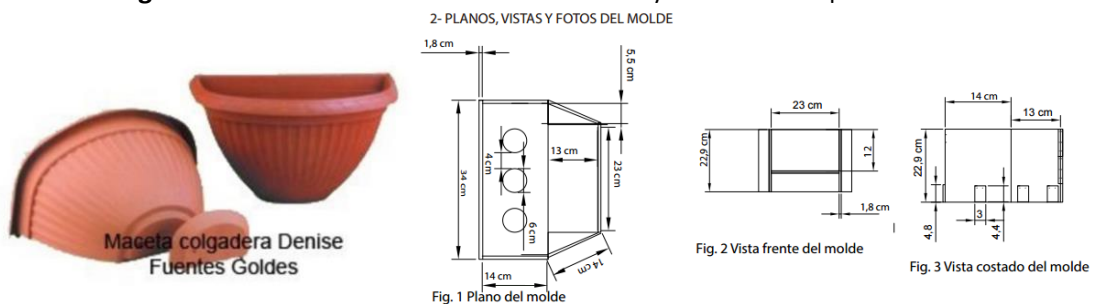
Figura 2. Bloque Ladrillón. Conformación de muro mediante encastre entre bloques y bloque maceta.



Fuente: Imágenes de producción propia.

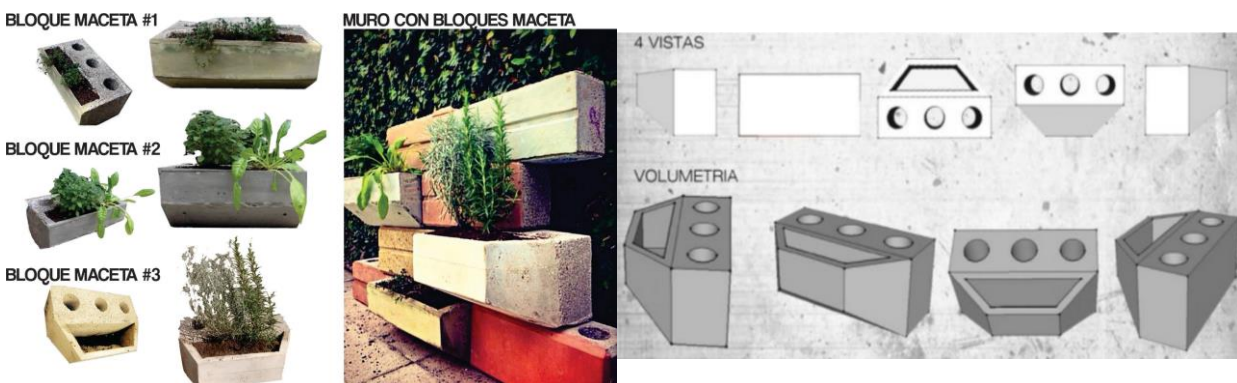
Para el diseño del prototipo se estudiaron macetas tradicionales, sus proporciones, su capacidad y el tipo de plantas que allí pueden crecer. A partir del estudio de las mismas, se pasó a diseñar las medidas apropiadas para el bloque. Luego de varias pruebas se llegó a la conclusión que la mejor medida de volumen de tierra era de 4 lts, capacidad similar a la de una maceta Nº 3 (Ver figura 3)

Figura 3. Maceta estándar de 30 cm $\frac{1}{4}$ de esfera y encofrado bloque maceta.



Fuente: <http://www.fuentes-goides.com.ar/>, y planimetría de producción propia.

Figura 4: Prototipos 1,2,y3. Conformación de muro con bloques maceta. Vistas y volumetría del bloque.



Fuente: Producción propia.

La definición de la morfología del mismo parte del diseño de un muro generado por la superposición de dicho bloque (ver figura 4). Una vez pensado el apilamiento se sostuvo por cuestiones estéticas y para el aprovechamiento de la luz solar, que se fuera modificando su morfología general.

4. Resultados

- Primer prototipo del bloque

Encofrado: Realizado en EPS reciclado, con uniones de clavos, se recubrió con PVC espumado como interfaz para facilitar el desmolde. Para las perforaciones cilíndricas se reutilizaron tubos de PVC recubiertos en nylon para desmolde.

Dosificación de mezclas: Para el alma del bloque se adoptó la mezcla cuya dosificación es 1:1:1:3,75:13,5% agua. Para la capa exterior se utilizó un mortero de cemento de color con dosificación 1:3. Para el acabado interior del bloque se realizó una composición a base de cemento 1:3; con el motivo de crear una pequeña película protectora para prescindir de revestimiento interior y evitar el desgranamiento del hormigón.

Preparado de la capa y hormigonado. Vibrado y secado: Se vibró el bloque; a los 20 minutos se retiraron los tubos de PVC y se dejó secar.

Desencofrado: Se desencofró el bloque a los 7 días de haberlo hormigonado y se procedió a su pesado. El mismo se realizó a los 7, 14 y 21 días. Su peso final fue de 16kg, se redujeron 0,415 kg debido a la evaporación del agua. El volumen libre consistió en 1,470 litros.

Desagüe: Se caló en los extremos de la cara inferior una perforación de 1,5 cm como desagote.

Observaciones: Se concluyó que debido a la morfología compleja del bloque es dificultoso su hormigonado, la superficie cultivable era demasiado pequeña para poder albergar la mayoría de las especies vegetales además de que el excesivo peso del mismo dificulta su manipulación y traslado.

- Segundo prototipo del bloque

Encofrado: Se reutilizó el encofrado y se aumentó el volumen del vacío perteneciente a la maceta. Se redujeron los bordes de la maceta (el recubrimiento). Se procedió al mismo hormigonado que en el primer bloque con igual dosificación y vibrado.

Desencofrado: Se desencofró el bloque a los 7 días de haberlo hormigonado y se procedió a su pesado. El mismo se realizó a los 7, 14 y 21 días. Su peso final fue de 15,015 kg, se redujeron 0,740 kg. El volumen libre consistió en 2,260 lts. Se calaron iguales perforaciones de 1,5 cm de diámetro en los extremos de la cara inferior.

Observaciones: Se redujo el peso del bloque en comparación al primer bloque lo que mejora su manipulación. Las caras exteriores y encuentros del bloque no quedaban notoriamente prolijas y el vacío de cultivo no es comparable al de las macetas estándar aunque el mismo haya aumentado.

- Tercer prototipo del bloque

Construcción del encofrado: Se realizó un nuevo encofrado en EPS. Se emplearon las mismas mezclas. El ferrite amarillo y verde fue reemplazado por cemento blanco, para lograr una diferente gama de colores. Se procedió al mismo hormigonado que en el primer bloque. Posterior vibrado.

Desencofrado: Se desencofró el bloque a los 7 días de haberlo hormigonado y se procedió a su pesado. El mismo se realizó a los 7, 14 y 21 días. Su peso final fue de 15,700 kg, se redujeron 0,500 kg debido a la evaporación del agua. Los pesajes respectivos fueron: 16,200 kg; 15,940kg y 15,700kg. El volumen libre consistió en 3,000 lts

Desagüe: Se dejaron las mangueras introducidas durante el hormigonado como desagüe. Se reforzó el azotado hidrófugo con una capa de pintura siliconada.

Observaciones: Se mejoró la morfología y encastre facilitando su apilamiento para la conformación de muro. El nuevo diseño de facetado de caras laterales provee mayor iluminación a la maceta inferior sin dejar de abastecer con agua a los bloques inferiores x desagüe. Debido al aumento en el tamaño saliente, aumentó su pesaje. Dicho aumento amplía el repertorio de plantas disponibles.

La realización del encofrado en EPS concede ciertas desprolijidades en su aspecto exterior, por lo cual debería ser reemplazado, al igual que la manera de hormigonarse, ya que luego de fabricada la maceta se podía observar que parte de la mezcla del alma del bloque se filtró hacia el sector de la maceta; debilitándose así la resistencia de la misma.

Figura 5: Prototipos 4, 5, 6 y 7. Conformación de muro mediante encastre.



Fuente: Imágenes de producción propia.

- Cuarto prototipo del bloque

Construcción del encofrado: Nuevo encofrado en madera para mejorar terminaciones y sectorizado de mezclas. Con la ayuda de una chapa divisoria de mezclas, el hormigón liviano que conforma el alma del bloque conserva su lugar. Para el alma del bloque se adoptaron las mismas mezclas. Para el acabado interior del bloque se realizó una composición a base de cemento y arena; con el motivo de crear una pequeña película protectora para prescindir de revestimiento interior y evitar el desgranamiento del hormigón liviano.

Preparado de la capa y hormigonado: Se procedió al mismo hormigonado

Vibrado y secado: Se repite el procedimiento de vibrado y secado. Se retiran tubos y chapa divisoria.

Desencofrado: Se desencofró el bloque a los 7 días de haberlo hormigonado y se procedió a su pesado. El mismo se realizó a los 7, 14 y 21 días. Su peso final fue de 13,530 kg, se redujeron 0,670 kg debido a la evaporación del agua. El volumen libre consistió en 3,200 lts

Desagüe: Se dejaron las mangueras incorporadas durante el hormigonado como desagüe.

Observaciones: Se redujo el peso del prototipo lo cual beneficia a la manipulación, se observan varias desprolijidades en el aspecto exterior del bloque. Se planteó el posible aumento de la capacidad el mismo mediante la reducción de los espesores. El catálogo de colores fue ampliado.

- Quinto prototipo del bloque

Encofrado: Se agrandó el vacío. Se empleó interfaz para mejorar acabado. Se realizó el mismo procedimiento anterior en cuanto a mezclas y vibrado

Desencofrado: Se desencofró el bloque a los 7 días de haberlo hormigonado y se procedió a su pesado. El mismo se realizó a los 7, 14 y 21 días. Su peso final fue de 14,630kg, se redujeron 0,670 kg debido a la evaporación del agua. El volumen libre consistió en 4,10 lts.

Desagüe: Se realizaron 2 perforaciones de 1,5 cm en la cara inferior

Observaciones: Se mantuvo el peso del prototipo, el aspecto exterior del bloque mejoró. El volumen cultivable aumento notablemente lo que amplía el catálogo de plantas disponibles. El nuevo aspecto del bloque involucra la reutilización de desechos del mismo cascote. Los bordes interiores del vacío de la maceta resultaron en ángulos muy agudos dificultando el crecimiento de plantas y desagote.

- Sexto prototipo del bloque

Observaciones: Se realizó el mismo procedimiento se diferencia en la morfología del vacío interior de la maceta. Dicho vacío se trató de realizar mediante la reutilización EPS y restos de hormigón liviano, con el objetivo de realizar una pieza de vacío más duradera y prolija. Por su granulometría, se dificultó el tiempo de desencofrado, requiriendo más mano de obra. El problema de los ángulos agudos en el vacío interior, fue resuelto pero la respuesta no fue satisfactoria debido al incremento en los tiempos. A su vez la desprolijidad del vacío provoco un aumento en el peso del bloque ya que los espesores de recubrimiento variaban. La capacidad de la maceta se mantuvo en 3,90 lts. Pesaje final del bloque fue de 17,310 kg.

- Séptimo prototipo del bloque

Observaciones: Para dicho prototipo se realizó un diseño en impresión 3d del vacío del bloque, con el objetivo de evitar ángulos agudos que dificultan el desmolde, uso, y su optimización en cuanto a forma para desagüe. Lo resultante respecto al vacío específicamente diseñado fue que el espesor del mortero de cemento en el sector maceta fue muy variado y excesivo, provocando aumento en el peso del mismo. El volumen cultivable se redujo a 3,00 lts. Los desagües fueron realizados una vez hormigonado el bloque con taladro. Los mismos tenían un diámetro de 1,5 cm. Pesaje final del bloque fue de 15,720 kg.

Selección de Especies cultivables

Tabla 1. Tipos de plantas posibles para cultivo en bloque maceta.

| A. Nombre Vulgar | B. Nombre científico | C. Altura | D. Hoja* | | | E. Época de floración | F. Color de flores | G. Luz** | | | H. Riego*** | | | I. Mantenimiento | | | J. Precio**** | | |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------|----------|-----------|------------|-----------------------|---------------------|-----------|---------------|--------------|-------------|------------|----------|------------------|----------|---------|---------------|----------|---------|
| | | | A. Anual | B. Bienal | C. Perenne | | | A. Sombra | B. Semisombra | C. Pleno sol | A. Poco | B. Regular | C. Mucho | A. Bajo | B. Medio | C. Alto | A. Bajo | B. Medio | C. Alto |
| Aromáticas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Menta | Mentha aquatica | 20-80 cm | | | X | Verano | Lilas o blancas | | | X | | X | | X | | | | X | |
| 2. Menta Piperita | Mentha piperita | 30-50 cm | | | X | Verano | Lilas o blancas | | | X | | X | | X | | | | X | |
| 3. Orégano | Origanum vulgare | 40-80 cm | | | X | Verano | Rosas o Blancas | | | X | | X | | X | | | | X | |
| 4. Majorana | Origanum majorana | Hasta 60 cm | | | X | Verano | Blancas o lilas | | | X | | X | | X | | | | X | |
| 5. Tomillo | Thymus vulgaris | 10-25 cm | | | X | Verano | Blancas | | | X | | X | | X | | | | X | |
| 6. Cilantro | Coriandrum sativus | Hasta los 90 cm | X | | | Verano | Blancas | | | X | | X | | X | | | | X | |
| 7. Perejil | Petroselinum hortense | 20-75 cm | | X | | Verano | Verde amarillento | | X | | | X | | X | | | | X | |
| 8. Romero | Romarinus officinalis 'Prostratus' | 35 cm | | | X | Primavera | Azul, rosa o blanco | | | X | | | X | | X | | | X | |
| 9. Albahaca | Ocimum basilicum | 30 a 50 cm | X | | | Verano | Rosas o Blancas | | X | X | | X | | X | | | | X | |
| 10. Zanahoria enana | Daucus carota Var Nantes | Hasta 20 cm | | X | | Primavera - Verano | Blanca | | | X | | | X | X | | | | X | |
| Cruuláceas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. Sedum | Sedum caucicola | 8 cm | | | X | Otoño | Rosa púrpura | | | X | X | | | X | | | | X | |
| 12. Aptenia | Aptenia cordifolia | 5-10 cm | | | X | Primavera | Rosa Fucsia | | | X | X | | | X | | | | X | |
| 13. Rosario | Senecio rowleyanus | 5-10 cm | | | X | Verano | Blancas | | | X | X | | | X | | | | X | |
| 14. Echeveria | Echeveria elegans | 5-10 cm | | | X | Primavera - Verano | Rojo y amarillo | | X | | | X | | X | | | | X | |
| 15. Calanchoe | Kalanchoe blossfeldiana | 30 cm | | | X | Invierno | Variedad de colores | | X | | | X | | X | | | | X | |
| Ornamental | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16. Alegria del hogar | Impatiens walleriana | 20 cm | | | X | Todo el año | Variedad de colores | | X | | | | X | X | | | | X | |
| 17. Pensamiento | Viola tricolor | 15-25 cm | X | | | Otoño - Primavera | Variedad de colores | | X | X | | | X | | X | | | X | |
| 18. Flasa brechina | Cuphea hyssopifolia | 20-30 cm | | | X | Verano | Rosas o Blancas | | X | X | | | X | X | | | | X | |
| 19. Copete | Tagetes erecta | Hasta 30 cm | X | | | Verano - Otoño | Amarillo o Naranja | | | X | | X | | X | | | | X | |
| 20. Verbena | Verbena hybrida | 30-50 cm | | | X | Primavera - Verano | Variedad de colores | | | X | | X | | X | | | | X | |

Fuente de información: Producción propia y <http://fichas.infojardin.com>

Simultáneamente al diseño del bloque, junto con estudiantes de la Licenciatura en Planificación y Diseño del Paisaje, se estudiaron tipos de especies disponibles para el cultivo. En tabla 1 se organizaron las especies según 3 criterios: aptas para el módulo huerta (mayoritariamente aromáticas), de bajo mantenimiento y especies ornamentales. En la Figura 6 se resumen las especies existentes con sus características más relevantes.

Figura 6: Imágenes en referencia a la tabla anterior. Plantas posibles para cultivo en bloque maceta.



Fuente: Trabajo Final materia “Materiales, Elementos y Procedimientos en la construcción” de la Licenciatura en Planificación y Diseño del Paisaje realizado por Florencia Ledesma y Lucía Silva.

Aplicación en vivienda

Tal como indica la figura 7 es posible construir una vivienda mediante la combinación de bloques ladrillón y bloques maceta pensando en un sistema de construcción sostenible orientado al diseño bioambiental, que reutilice desechos, aumente la superficie cultivable y favorezca al bienestar de las personas. La siguiente vivienda fue diseñada para un terreno en Bella Vista. La planta fue proyectada en base a medidas de bloques y cada una de sus fachadas fue pensada para aprovechar la luz solar y/o protegerse según la estación del año; al igual que las especies que allí podrían cultivarse. La estructura se resuelve independientemente. En el interior, los muros incluyen un acabado que prescinde de revoques o pinturas.

Figuras 7: Plantas y vistas de la vivienda fabricada con bloques ladrillón y maceta.



Fuente: elaboración propia

5. Conclusiones

Discusión

El sistema de construcción propuesto mediante la utilización de bloques maceta conlleva varios aciertos y complicaciones entre ellos se pueden mencionar.

Logros:

- Se fabricó un bloque capaz de albergar diferentes especies vegetales; Se redujo el peso del mismo sin modificar la incorporación de agregados reciclados para mejorar su manipulación; Se utilizaron materiales de desecho que no poseen un circuito de reciclaje definido como agregados en las mezclas; Se realizaron diferentes prototipos con diversos tamaños de volumen cultivable, favoreciendo la pluralidad de especies; Se relevaron los prototipos a medida que fueron fabricados con el objetivo de evaluarlos y sugerir mejoras sustanciales; Se elaboraron planillas de identificación de especies vegetales posibles para el bloque según sus necesidades. Se fabricaron bloques que en su morfología contemplan el manejo del agua sin necesidad de un riego artificial; Se logró diseñar un sistema de desagüe y se pudo incorporar al prototipo.

Dificultades:

- El peso de la sección del bloque que contiene las especies vegetales tiene un peso mayor al del alma del bloque superándolo por más del 20% de su peso (sin considerar el peso correspondiente a las especies vegetales con su debida hidratación) lo que podría generar fracturas y separación entre las capas del bloque. Por ejemplo el 7mo prototipo ,cuyo pesaje final fue de 15,720kg, el alma del bloque compuesto por hormigón liviano peso 6,095kg y la sección de la maceta compuesta por mortero de cemento pesó 9,625 kg, siendo un claro ejemplo de la diferencia de pesajes entre las partes. Otra dificultad es el tiempo de producción del bloque (debido a espesores laterales y tamaño del vacío) es alto y requiere de un trabajo preciso de hormigonado que complejiza la tarea y dificulta su estandarización así como sus costos.

Este trabajo muestra un avance innovador en el tema de materiales para la construcción sustentable ya que actualmente no existe en el mercado un sistema de construcción de muros verdes que incluyan agregados reciclados en su fabricación. Se concluye, que es posible desarrollar un bloque de hormigón liviano a partir de mezclas con materiales reciclados que permitan el crecimiento vertical de una huerta, reduciendo la huella de carbono. El mismo, deberá tener en consideración las dificultades presentadas anteriormente; la problemática respecto al peso de la sección maceta podrá resolverse con la incorporación de una malla de red que tome la parte inferior tanto del alma del bloque como de la maceta, con el objetivo de lograr una superficie continua que solidarice con el alma del bloque los esfuerzos producidos por su peso. Los resultados favorables en cuanto a los prototipos producidos indican que dichos bloques pueden cumplir con los objetivos planteados al igual que con los beneficios que presentan los muros verdes en las construcciones.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de Lucía Silva, Florencia Ledesma , Yael Irueta y María Florencia Zuccotti. Este trabajo se inserta dentro del Proyecto Ubacyt GEF 20020130200132BA “*Desarrollo de materiales sustentables con la incorporación de cascotes, eps, materiales naturales y papel provenientes de RSU*”

y RCD en hormigones con la misión de generar productos aptos para uso en emprendimientos sociales y generación de empleos verdes” bajo la dirección de la arquitecta Marta Yajnes.

Bibliografía y referencias

Ackerman, F. W DC; *Why Do We Recycle?, Markets, Values and Public Policy*; Island Press, Washington DC, 1997.

Anca, E. [en línea], *Jardines Verticales · Muros Verdes · Paredes Vegetales · Enredaderas · BUENO SABER, Buenos Aires, Argentina, 2015*, <http://zenambient.blogspot.com.ar/p/jardines-verticales-muros-verdes.html#>

Azqueta, P. E. [en línea] *Hormigones livianos a base de poliestireno expandido*. http://www.aape.com.ar/biblioteca/Hormigones_Livianos.pdf 27/02/13

Borsani, Maria Silvia; *Materiales Ecológicos: estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de habitats urbanos sostenibles*. Master Arquitectura y Sostenibilidad: Herramientas de diseño y técnicas de control medioambiental; Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2011.

Gonzalo, Guillermo Enrique; Nota, Viviana; *Manual de Arquitectura Bioclimática*, Buenos Aires, Nobuko, 2003

Mercante, I (2008) *Impacto ambiental de los residuos de construcción y demolición alternativas de gestión*. <http://www.imd.uncu.edu.ar/upload/mercante-residuosconstruccion.pdf> Universidad Nacional de Cuyo. San Juan, Argentina.

Valdés, A.Juan [en línea], *Re-use of construction and demolition residues and industrial wastes for the elaboration or recycled eco-efficient concretes*, Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias. Universidad de León. Avda. Portugal, 41. 24071 León. España. 2010. <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/viewFile/1140/1137>

Autores

María Belén Putruele es estudiante de la carrera de Arquitectura en la Universidad de Buenos Aires, posee una beca “Estímulo a las Vocaciones Científicas” otorgada por el Consejo Interuniversitario Nacional. Actualmente investiga con cargo de ayudante en el CEP-ATAE Centro Experimental de la Producción Arquitectura y Tecnología aplicada a la Emergencia, dentro de la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires. beluputruele@gmail.com

Manos de tierra: Recuperando saberes en territorios vulnerables

Hands ground: Retrieving knowledge in vulnerable areas

*Cecilia Giusso¹ - Gustavo Páez¹ - Darío Medina¹ - Marcos Di Giuseppe¹ - Eugenia Ramallo¹ -
Nicolás Pecora¹ - Lila Adriani¹ - Rodrigo Fuente² - Claudia Eisenbeil² - Viviana Ibáñez¹ -
Gabriela Tarulli¹*

Resumen

El presente trabajo, se originó en la tarea llevada a cabo por tercer año consecutivo, entre el Instituto de Cultura Itálica Leonardo Da Vinci -La Plata- y la Escuela Provincial Nº 930 Paraje el Brasil -Provincia de Chaco- territorio con un alto grado de vulnerabilidad y en estado de abandono, carente de respuesta por parte de autoridades locales y provinciales. Ante un hábitat privado absolutamente precarizado, la escuela cumple un rol fundamental en tanto lugar de encuentro como hospedaje temporario. A partir de la detección de la pérdida de saberes heredados (construcción en adobe) así como del uso inadecuado de materiales y técnicas para la conformación del hábitat, la Facultad de Arquitectura y Urbanismo | UNLP se sumó en un proyecto conjunto, con el objetivo de revalorizar y re significar las tradiciones constructivas locales, promoviendo el fortalecimiento de las redes socio-comunitarias a través del trabajo con la comunidad rural del lugar.

Palabras clave: vulnerabilidad; adobe; sustentabilidad; re significación de saberes.

Hands ground: Retrieving knowledge in vulnerable areas

Abstract

The present work/study was carried out for three consecutive years, between the Italian Cultural Institute- Leonardo Da Vinci (city of La Plata) and the Provincial School Number 930 (Town of the Brazil, province of Chaco). The mentioned town presents a high level of vulnerability and neglected condition as a result of the lack of presence of local and state authorities. As a result of that, the habitat of this place is completely deprived and precarious; therefore the school plays a significant role as a meeting place and temporary shelter. From the study were detected the loss of inherited knowledge (adobe construction a.k.a mud brick construction) the inappropriate use of materials and

¹ Facultad de Arquitectura y Urbanismo | Universidad Nacional de La Plata.

² Instituto de Cultura Itálica Leonardo Da Vinci | La Plata.

incorrect techniques for habitat conformation. For these reasons, the School of Architecture and Urbanism (National University of La Plata) joined the project in order to take advantage and signify the importance of the local building traditions, which promotes the strengthening of socio-community networks by working side by side with local rural communities.

Keywords: vulnerability; adobe construction; sustainability; knowledge redefinition.

Introducción

Las diversas tareas de carácter solidario llevadas a cabo durante estos tres años, permitieron generar lazos de confianza e intercambio con los habitantes de la comunidad Paraje El Brasil, las instituciones educativas mencionadas y el Instituto de Educación Superior de Taco Pozo -incorporado a la experiencia durante el último-. Como resultado, se llegó a la conclusión de la necesidad de ampliar el rango de actividades más allá de lo solidario, y que estimulando el trabajo comunitario a partir de la revalorización de tradiciones y transferencia de conocimientos, consolidara un proyecto abarcador de la comunidad toda. En dicho contexto, el Proyecto de Extensión acreditado y subsidiado UNLP “Manos de tierra. Recuperando saberes, mejorando el ámbito comunitario” se basó en dos ejes principales:

1. La capacitación teórico-práctica de la comunidad basado en las experiencias relevadas en los talleres Pro terra realizados en el 2011 en San Pablo. Y trasladando las técnicas y tecnologías relevadas en los mismos talleres, especificados en la bibliografía mencionada al final del documento.
2. La construcción y mejoramiento del espacio comunitario; articulando acciones que, desde su ámbito específico, intervinieran en la generación de conciencia sobre la necesidad de desarrollo de un hábitat sustentable en compromiso con la comunidad y el medio ambiente. La relevancia del proyecto, excedió entonces el trabajo específico de cada ámbito académico en particular, para adentrarse en una praxis conjunta en donde los saberes circulan, se re significan y materializan, en pos del mejoramiento del hábitat común.

Ante este posicionamiento usamos como disparador una de las ideas del Arq Pelli. *“Toda elaboración teórica, de acción, o de decisión política, sobre la solución habitacional, debe tener su basamento en el conocimiento profundo y constantemente utilizado de las necesidades de las personas, entendido como conocimiento construido junto con la misma gente que o padece, no solo la de las estadísticas y de las encuestas sino las personas concretas, con nombres rostros y diálogo, una por una, uno por uno.”*³

El objetivo de recuperar las tradiciones de construcción en adobe para la edificación de viviendas, afianzó los lazos de la comunidad Paraje El Brasil y las instituciones convocadas, fortaleciendo la interacción entre diferentes niveles formativos. El intercambio y participación de los diferentes actores (educación primaria, secundaria, terciaria y universitaria) en la tarea conjunta de promover y desarrollar un hábitat sustentable, amplió el horizonte de destinatarios a la comunidad toda. La transferencia y capacitación en tecnologías alternativas de construcción a través de talleres in-situ, optimizó ostensiblemente el uso del adobe local, orientado hacia una mejora en la calidad de vida.

³ Pelli, Víctor Saúl. *Habitar, participar, pertenecer. Acceder a la vivienda, incluirse en la sociedad.*

Objetivos

En función de lo anterior, se planteó una revalorización y re significación de las tradiciones de construcción en adobe y el trabajo conjunto de la comunidad rural Paraje El Brasil, a partir de acciones que, desarrolladas y aplicadas en la Escuela N° 930 pudieran ser replicadas a la comunidad en su conjunto, promoviendo acciones de fortalecimiento de las redes socio-comunitarias.

Recuperar las tradiciones de construcción en adobe para la edificación de viviendas, afianzando los lazos entre la comunidad y las instituciones convocadas en el enriquecimiento, circulación y puesta en acto de saberes aprendidos con el fin de promover y desarrollar un hábitat sustentable, quedó definido como entonces como Objetivo General;

Re significar saberes entre las instituciones participantes promoviendo en sus diversas instancias el desarrollo de un hábitat sustentable;

Profundizar el Proyecto Chaco iniciado por el Instituto de Cultura Itálica Leonardo da Vinci y la Escuela N° 930 Paraje El Brasil, ampliando el horizonte de destinatarios a la comunidad toda, transfiriendo y capacitando en tecnologías alternativas de construcción;

Fortalecer la interacción entre instituciones de diferente nivel formativo, estimulando el intercambio y participación de los diferentes actores (educación primaria, secundaria, terciaria y universitaria) en la tarea conjunta de promover y desarrollar un hábitat sustentable;

Intercambiar con la comunidad del Paraje conocimientos sobre el uso del adobe en la construcción, mejorando ostensiblemente el uso de esta tecnología en la construcción de viviendas; constituyeron los Objetivos Específicos.

Metodología

Para el abordaje de lo descripto, se propuso una metodología (cuali-cuantitativa) que considerara: el relevamiento y análisis -reconocimiento in situ- de la situación habitacional desde la mirada profesional e idónea de la FAU; encuentros de planificación de estrategias de trabajo, promoviendo una articulación que impulsara el reconocimiento de tradiciones, la resignificación de las mismas y la alineación con la educación para un hábitat sustentable; programación de tareas entre las instituciones intervinientes para enraizar e impulsar el proyecto en la comunidad; talleres de formación en tecnologías sustentables en el mismo Paraje para docentes, estudiantes y habitantes de la comunidad; realización de un manual de aplicación de las técnicas compiladas y producidas a lo largo de la experiencia, así como evaluaciones periódicas del proceso a fin de ajustar variables.

Relevamiento Socio habitacional

El relevamiento habitacional de los pobladores de la comunidad realizado por docentes de la escuela local, dio como resultado que los integrantes de la comunidad del Paraje, lo constituyen aproximadamente 39 familias integradas por unas 273 personas de escasos recursos económicos; que en su mayoría viven en precarias construcciones de estructura mínima de madera, con cerramiento plástico y expuestos a la rigurosidad del clima, a los que se suma la ausencia de agua y la falta energía. Carecen de conocimientos vinculados tanto a la construcción como a la elección adecuada de materiales; pero se consideró que a partir de participar en el proceso de construcción

de su hábitat comunitario, estarían en condiciones de replicarlo posteriormente en las propias viviendas.

Datos cuali-cuantitativos:

Cantidad de viviendas habitadas: 39

Material de techos: 43,5%: Polietileno | 43,5%: Tierra | 13%: Chapa de zinc

Material de pisos: 100% Tierra

Material de paredes: 20% Ladrillos levantados en barro | 25% No tienen paredes | 55% Rodeadas con polietileno

Baños instalados: No poseen. 100% Letrinas.

Cocina comedor: No poseen. 100% Utilizan fogones a leña.

Red de agua y luz: 100% No poseen.

Las viviendas no están divididas en habitaciones, hay sólo una que funciona como dormitorio que comparten todos los integrantes de la familia.

En cuanto a las aberturas son muy escasas, no poseen ventanas ni puertas, la mayoría emplean cortinas o plásticos para cubrir el espacio.

Relevamiento de tecnologías

En función de los objetivos y metodología planteados, se produjo inicialmente una indagatoria acerca de tecnologías de adobe y construcciones sustentables, considerando las características ambientales del Paraje en el Impenetrable Chaqueño. Paralelamente se desarrolló el estudio de las construcciones que actualmente forman parte de la Escuela, para determinar características, estado actual y técnicas de mantenimiento utilizadas para su preservación. Fue posible observar entonces, tanto la degradación por falta de mantenimiento donde había sido empleado el adobe, como la aplicación de técnicas mixtas en reemplazo o superposición de las originarias.

Relevamiento sistémico.

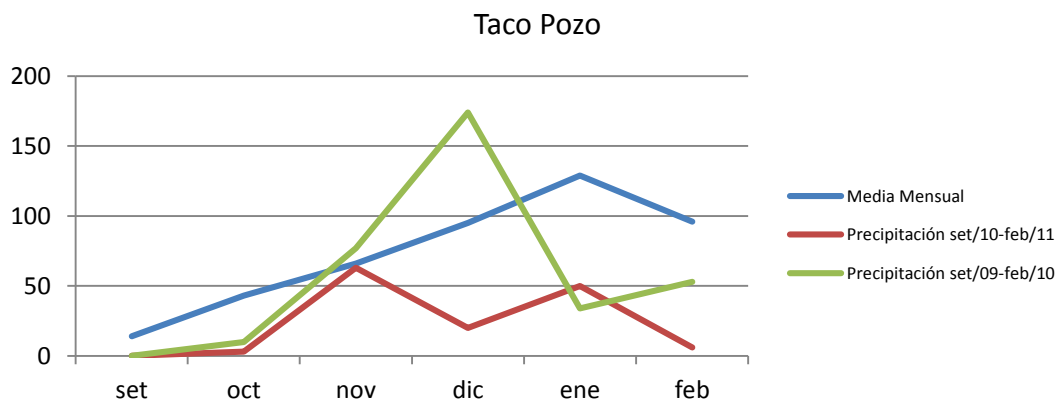
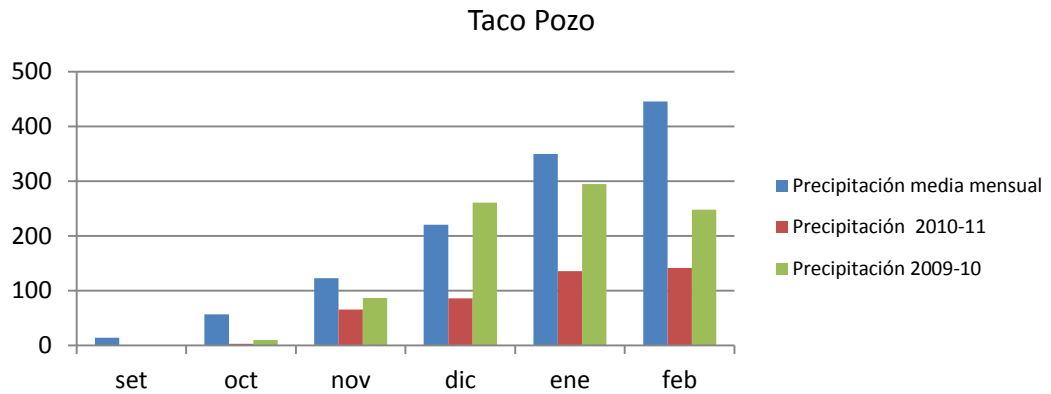
A los datos del relevamiento se sumaron los del clima, y específicamente en relación al nivel de precipitaciones existente (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Datos pluviométricos – históricos y de las campañas 2009 | 2011

| | set | oct | nov | dic | ene | feb |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Precipitación media mensual (histórico) | 14 | 57 | 123 | 221 | 350 | 446 |
| Precipitación 2010-11 | 0 | 3 | 66 | 86 | 136 | 142 |
| Precipitación 2009-10 | 0 | 10 | 87 | 261 | 295 | 248 |

Fuente: PROV.DEL CHACO MINISTERIO DE PROD. Y AMBIENTE - Subsecretaría de Recursos Naturales.
Dirección de Suelos y Agua Rural

Tabla 2. Análisis de las precipitaciones acumuladas – históricas y de las campañas 2009 | 2011



Fuente: PROV.DEL CHACO MINISTERIO DE PROD. Y AMBIENTE - Subsecretaría de Recursos Naturales.
Dirección de Suelos y Agua Rural

Evaluación de tecnologías adecuadas y adoptadas.

Y en función de las características compositivas del suelo de la zona y a partir de los valores obtenidos, se realizó una indagatoria en técnicas de construcción con adobe para estas condiciones, estableciendo ventajas y desventajas de las mismas.

Quedando seleccionadas tres: Construcción de muros de Tapial (tierra apisonada) | Bloques de Tierra comprimida (BTC) | Ladrillos de Adobe sin cocer, se encontró que el ladrillo de adobe era fácil de fabricar, secar y apilar (lo que permite su acopio hasta la definitiva puesta en obra), presenta capacidad aislante importante por su grado de porosidad; permite diversidad de formas y tamaños; es reciclable en un 100%; no requiere mano de obra calificada y el equipamiento es artesanal y muy económico, a diferencia de los muros de tapial que requieren de encofrados y soportes cuyo costo es muy superior, o el BTC que requiere maquinaria específica para su realización; se puede utilizar para construir muros, arcos, bóvedas y cúpulas; hay abundante materia prima a costo cero, es óptimo para la realización progresiva artesanal de las piezas y no requiere especificaciones particulares para su secado, más que amplias y aireadas zonas. Como desventajas en cambio su resistencia a compresión, flexión y tracción, considerablemente más baja que los mampuestos industrializados y el BTC; y a pesar de su construcción con moldes, la ausencia de garantía de dimensiones regulares en todas las piezas.

Sin embargo, por sus ventajas tanto en relación a las condiciones climáticas, las del contexto socio-cultural del Paraje El Brasil y las propias de la dinámica del proyecto, la construcción en ladrillo de adobe fue la considerada más apta para el desarrollo e implementación de las tareas en el lugar.

Momento 1

La materia prima básica para la producción de ladrillos de adobe es la tierra. Sin embargo, dependiendo de sus características, se hace necesario agregar otros materiales, como adiciones o estabilizantes. En casos como el de estudio, habitualmente se emplean fibras vegetales, estiércol y/ o pelos de animal (para evitar la fisuración por secado) así como emulsiones asfálticas (para agregar impermeabilidad al adobe). El orden en pasos de la técnica lo constituyen la preparación de la tierra; los moldes; y la construcción de bases, paredes y cubiertas.

Para la preparación de la tierra se utilizan a fin del desterronamiento y homogeneización, un tamiz grande con malla de 5 mm de abertura (para eliminar piedras, ramas, plásticos y otros elementos grandes; así como un triturador o rodillo manual para desterronar.

Momento 2

Para el moldeado manual con mezcla de barro, existen diversos tipos de moldes, como los de fabricación artesanal a baja escala: de 1, 2, 4 y 6 unidades enteras y de media unidad, de forma rectangular y cuadrada (zonas afectadas por sismos) en el piso o sobre una mesa; con fondo o no, dependiendo de la tradición local; a diferencia de los de fabricación a gran escala, que constituyen parrillas fijas o móviles desde 6 y hasta 60 o 70 unidades.

Los adobes se fabrican directamente sobre un piso firme, humedecido (la “cancha”) al aire libre. El molde se moja todo el tiempo para evitar que el barro se pegue. El barro se coloca a mano, rellenando bien esquinas y costados, se enrasa con regla o a mano, y se desmolda hacia arriba, todo de manera rápida pero prolija. Se organizan filas y cada 1m se deja un espacio para poder caminar. El barro se mantiene con la plasticidad necesaria para que se pueda rellenar completo el molde con una ligera presión manual (sin apisonar).

Momento 3

Secado y acopio: Los adobes se secan al aire libre primero de plano, durante varios días (entre una a dos semanas) y luego se paran de costado hasta terminar su secado, entre 5 y 10 días más, dependiendo del clima local. Luego se apilan y se tapan para evitar que los lave la lluvia. Se recomienda apilar hasta 1,20 m de altura y canalizar el agua alrededor de las pilas.

El procedimiento constructivo para paredes de adobe con mezcla de barro (con o sin fibras) es similar al de una mampostería convencional de ladrillos cocidos, ladrillos cerámicos o bloques de hormigón. Para evitar el deterioro de la humedad por capilaridad y por el lavado de lluvias, es conveniente pensar en una protección aislante en el encuentro de las cimentaciones y los muros, así como también en la cara exterior de muros y cubiertas, cualquiera sea su forma.

La relación de la teoría y la práctica, los talleres de adobe.

Definida la tecnología a emplear, se organizó en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo | UNLP el Taller de Formación y Capacitación, orientado al grupo de docentes y estudiantes que llevaría adelante la actividad en la escuela del Paraje.

Basados en la práctica y experiencia desarrolladas por Gernot Minke⁴, miky como se lo conoce en el medio, pudimos ejemplificar las posibilidades y bondades de la técnica a los futuros capacitadores.

El Taller fue estructurado a partir de contenidos teórico-prácticos, que comprendieron entre otros la referencia histórica de la técnica de adobe, sus propiedades físicas y conceptos sobre estabilización de suelos, las formas constructivas asociadas a los principios de sustentabilidad y su relación con el clima y los recursos locales.

Durante la fase práctica se desarrollaron pruebas granulométricas y de elasticidad (Figura 1) el armado de los moldes (Figura 2) así como el moldeado de ladrillos y desmolde de los mismos (Figuras 3 y 4). Como soporte fue elaborada una ficha de apoyo, con la explicitación gráfica de todo el proceso.



Figura 1. Pruebas de suelo

Fuente: Obtención propia



Figura 2. Armado de moldes

Fuente: Obtención propia



Figura 3. Moldeado

Fuente: Obtención propia



Figura 4. Desmolde de Adobes

Fuente: Obtención propia

⁴ Doctor Arquitecto . Referente mundial en construcción sustentable.

Llegada la instancia de trabajo en el sitio, tuvieron lugar los Talleres con los grupos de trabajo previamente conformados y miembros de la comunidad del Paraje (Figura 5). Tal como lo desarrollado en el primero, en este caso se elaboraron paneles explicativos (Figura 6) a la vez que un Manual de técnicas básicas para la construcción con Ladrillo de Adobe, que fueron entregados a la comunidad para consulta permanente.

Como parte del intercambio de saberes y a modo de introducción, se identificaron los distintos tipos de técnicas constructivas empleadas en el Paraje. Una vez definidas las características de cada una, se analizaron sus ventajas y desventajas en relación al clima, materiales disponibles, capacitación de mano de obra necesaria, recursos materiales y económicos, tiempos, y saberes previos necesarios para su materialización; concluyéndose que la construcción en adobe brindaba una mejor respuesta desde los factores enunciados. Y vinculando a los conocimientos adquiridos a través de la propia tradición, se reconocieron aspectos a mejorar tanto constructivamente como en el uso de los materiales.

Continuando con las tareas programadas, se describió el procedimiento para la construcción de los ladrillos, que posteriormente se llevaría a cabo. Se realizaron las pruebas de granulometría, elasticidad y resistencia con la tierra del lugar, y tres diferentes estabilizaciones de suelo: sólo tierra | 90% tierra 10% materia vegetal | 95% tierra 5% cemento | 80% tierra 20% estiércol (Figura 7).

Se definieron y acondicionaron los espacios necesarios para la mezcla del adobe, el moldeo de ladrillos y la cancha de secado. Se realizaron pruebas piloto de ladrillos a partir de las diferentes mezclas, respondiendo el suelo estabilizado con excremento de caballo, burro y cabrito, a condiciones de elasticidad y resistencia óptimas (Figura 8).

Concluyendo el Taller, se produjo la puesta en común de la experiencia desarrollada, planificando como actividades futuras entre otras, la mejora de las instalaciones de la Escuela, así como el establecimiento de plazos de inicio y de consecución de las obras de mejoramiento.



Figura 5. Talleres en el Paraje Fuente
Obtención propia



Figura 6. Paneles y material gráfico Fuente: Obtención propia



Figura 7. Dosificación Fuente:
Obtención propia



Figura 8. Moldeado Fuente:
Obtención propia

A la vuelta del trabajo in situ, se trajeron muestras de tierra local para ser analizadas en laboratorio, lo que permitirá obtener resultados definitivos respecto a composición, resistencia y elasticidad, para poder enviar la proporción óptima entre tierra y estabilizante, acorde a las características del lugar.

Resultados

La experiencia obtenida en los talleres en la plata y su posterior verificación en la capacitación de los pobladores de taco pozo, fue auguriosa en función de haber abordado, o recordado, tecnologías subyacentes en la población y con ello generar una lógica o posibilidad constructiva adecuada a la región y accesible a la mano de obra local.

Conclusiones

Los resultados empíricos y la conjunción social de los extensionistas del grupo de pobladores, llevo a establecer una nueva modalidad de relación y de confianza.

Intercambiar saberes sobre las nuevas tecnologías de construcción sustentable, permitió la experimentación de alternativas en el lugar de forma recíproca.

A partir del reconocimiento de los acuerdos y las diferencias existentes, y más allá de lo expresado en relación a los objetivos planteados en el inicio, el respetar y resignificar la mirada del otro, fue el eje que vinculó transversalmente esta experiencia, consolidando un corpus de saberes compartidos como auténtica forma de interacción social.

Los objetivos planteados inicialmente fueron cumplidos y regenerados como nuevos objetivos a desarrollar en otros espacios de intercambio que pretendemos realizar.

Bibliografía

Minke, Gernot. (2001). *Manual de Construcción con Tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. BRC Ediciones. San Carlos de Bariloche, Río Negro.

Pelli, Víctor Saúl. (2007). *Habitar, participar, pertenecer. Acceder a la vivienda, incluirse en la sociedad*. Editorial Nobuko. Buenos Aires.

Célia Neves y Obede Borges Faria (Coordinadores). (2011). *Talleres Proterra. Instructivo para Organización*. FEB-UNESP/ Proterra. San Pablo.

Célia Neves y Obede Borges Faria (Coordinadores). (2011). *Técnicas de Construcción con Tierra*. FEB- UNESP | Proterra. San Pablo.

Siacot (2006). <http://www.cricyt.edu.ar/secprensa/siacot/cdenlinea/indexf.htm>

<http://www.fundasal.org.sv/blog.siacot/>

Proyecto Frontterra2 (2007). www.fronterra.org

construTIERRA | Red de Investigación con Tierra. <http://www.construtierra.org/>

La Voz del Chaco (9 de Agosto de 2015)

http://www.diariolavozdelchaco.com/notix/noticia/46560_bruno-cipolini-paraje-el-brasil-es-fiel-reflejo-del-abandono-del-gobierno-.htm

Hormigones sustentables, tratamientos sobre agregados reciclados

Juan M. Moro¹, Romina S. Meneses¹, Lilia N. Señas¹, Carla V. Priano¹, Néstor F. Ortega¹

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar variantes de aplicación de tratamientos sobre agregados gruesos reciclados de hormigón de canto rodado, para mejorar las propiedades del hormigón resultante.

Los tratamientos difieren en el momento de ejecución, ya sea se realicen previamente al mezclado de los materiales o simultáneamente al mismo. En el primer caso, se analizaron variantes en el tipo de producto usado en el tratamiento y el tiempo transcurrido entre la ejecución del tratamiento y el hormigonado. En el segundo caso, se estudiaron alternativas de ejecución del tratamiento de lechada de cemento, a partir de variaciones en el orden de ingreso de los materiales al mezclado en la hormigonera.

Se estudiaron propiedades mecánicas y físicas de hormigones con un reemplazo del 50% del agregado grueso natural por hormigón triturado. El uso de tratamientos previos al agregado reciclado de hormigón, demostró ser una alternativa para mejorar la estructura de poros del hormigón y llevarlo a un comportamiento similar al de un hormigón tradicional.

Palabras clave: hormigón sustentable; agregados reciclados; tratamientos previos

Sustainable concrete, treatment of recycled aggregates

Abstract

The aim of this paper is to analyze variants of application of treatments on recycled coarse aggregate concrete, to improve the properties of the resulting concrete.

The treatments presented differ at the time of execution, whether previously made to the mixing of materials or simultaneously thereto. In the first case, variants were analyzed on the type of product

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur. Av. Alem Nº1253, CP 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Tel/fax: +54-291-459-5101 interno 3235. e-mail: juan.moro@uns.edu.ar

used in the treatment and the elapsed time between execution of the treatment and concreting. In the second case, alternative processing execution grout were studied, from variations in the order of entry of the mixed materials in the mixer.

Mechanical and physical properties of concrete made with 50% replacement of natural aggregate were studied. The use of pretreatments on recycled aggregates shown to be an alternative to improve the pore structure of concrete and bring it to a similar behavior of a traditional concrete.

Keywords: sustainable concrete; recycled aggregates; pretreatments

Introducción

La tendencia actual en la construcción es tener un ciclo de vida lo más cerrado y eficiente posible. Se parte de un material de los llamados de primera generación, y tras un proceso de transformación, se genera un insumo que, agotada su vida útil, genera un material de desecho, el cual, luego de recorrer otro proceso de transformación, da por resultado un material distinto, llamado de segunda generación (Gómez, Agulló & Vázquez, 2001). En la industria de la construcción el proceso ideal sería entonces: proyectar, construir, agotar la vida útil, demoler, reciclar y volver a proyectar con este nuevo material.

Los residuos de la construcción y demolición, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones en desuso, pueden ser utilizados como reemplazo total o parcial del agregado natural. Desde 1982 la definición de agregado grueso dada por la ASTM, ha incluido como tal, al hormigón triturado. Asimismo la Federal Highway Administration recomienda el uso de hormigón reciclado como agregado en sus especificaciones y guías (Federal Highway Administration, 1985). La National Stone Association reconoce que la industria del reciclado conserva los recursos naturales protegiendo el medio ambiente, soluciona el problema de los desechos que genera la construcción y puede ser económicamente beneficiosa (Warner, 1993).

El agregado reciclado de hormigón está compuesto por partículas de roca natural, roca natural con mortero adherido y/o mortero solamente. Es un material que presenta propiedades heterogéneas, las cuales dependen, del mortero adherido al agregado grueso del viejo hormigón y de su procedencia. Esto se debe, en el primer caso, al grado de trituración y del manipuleo previo a su utilización; y en el segundo, al tipo y destino de estructura, calidad de hormigón, elaboración, curado, etc. Los agregados que provienen de la trituración de hormigón presentan partículas con forma angulosa y textura rugosa, generando una mejor interfase en la zona de transición pasta-agregado, respecto al árido natural (Zega & Di Maio, 2011).

En general los agregados reciclados de hormigón presentan alta porosidad, presencia de microfisuras, contenido de cloruros, sulfatos y otras impurezas, que afectan el rendimiento mecánico del hormigón reciclado (Ryu, 2003). A pesar de presentar menor densidad y mayor absorción que los agregados naturales, es factible elaborar un hormigón de buen desempeño mediante una correcta dosificación (Lin et al., 2004; Evangelista & de Brito, 2014).

La durabilidad de los hormigones, es decir, su capacidad para resistir el paso del tiempo sin degradarse, se encuentra íntimamente vinculada a la estructura de poros del material y principalmente a la interconexión de ellos con el medio exterior (Zega, 2010). La mayor porosidad que presentan los agregados reciclados debido a la presencia de mortero primario en su constitución, genera un hormigón con una porosidad más elevada que uno de similares

características elaborado con agregados naturales. La capacidad y la velocidad de succión capilar se incrementan a medida que se aumenta el porcentaje de agregado reciclado (Villagrán et al., 2005).

Todos estos motivos limitan el uso de agregados reciclados, por lo tanto, es importante analizar metodologías para mitigar sus debilidades. Si se logra optimizar el uso de agregados reciclados, se logrará un importante beneficio: utilizar un material de desecho, permitiendo reducir las cantidades de residuos depositados y a la vez disminuir una fuente de recursos no renovable como es el agregado natural para hormigón extraído de canteras a cielo abierto.

Objetivo

El objetivo de esta investigación es analizar distintas variantes para la elaboración de hormigón reciclado, con el fin de disminuir su absorción capilar y mejorar la calidad del hormigón resultante, para lo cual se emplearon diferentes tratamientos sobre el agregado grueso reciclado de hormigón de canto rodado.

Metodología

Las variantes de tratamientos sobre los agregados reciclados se plantearon de dos formas, una de ellas haciéndolo en forma previa al mezclado de los materiales en la elaboración del hormigón, y la otra en forma simultánea al mezclado, con variaciones en el orden de mezclado de los materiales.

Se estudiaron las propiedades mecánicas y la absorción capilar de mezclas elaboradas con agregado grueso reciclado, producto de la trituración de hormigones sometidos a distintos tratamientos. Se comparó su comportamiento con el de hormigones elaborados sin agregados reciclados y con agregado grueso reciclado sin tratamiento previo.

Materiales y mezclas

Se proyectaron diferentes hormigones de relación agua/cemento 0,50, de los cuales, uno se elaboró sin la utilización de agregado reciclado (usado como patrón y denominado P), y los restantes, con un 50% de reemplazo, en volumen, de agregado grueso natural (canto rodado) por agregado reciclado de hormigón. En todos los casos excepto en uno (denominado R), el agregado reciclado fue sometido a tratamientos previos al mezclado de materiales, el cual se efectuó con lechada de cemento o mediante dos soluciones realizadas con productos impermeabilizantes de distinta procedencia y de uso comercial (denominados A y B). Además, en los casos de tratamientos previos con lechada de cemento, se estudiaron distintas variables vinculadas con:

- 1) La relación agua/cemento de la lechada: $a/c = 0,50$ (denominada L1); $a/c = 0,74$ (denominada L2) y $a/c = 1,00$ (denominada L3).
- 2) La cantidad de días transcurridos entre la fecha de realización del tratamiento y la de hormigonado de las probetas, los cuales se estipularon en 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días.

También se realizaron cuatro tratamientos simultáneos al mezclado de materiales, variando el orden de ingreso de los componentes a la hormigonera, en todos los casos, con lechada de cemento, bajo diferentes variantes (denominados LS1; LS2; LS3 y LS4) que serán detalladas posteriormente.

Los materiales utilizados en las mezclas fueron los siguientes:

Agua: se empleó agua corriente tomada de la red de provisión a la ciudad de Bahía Blanca.

Cemento: se usó cemento Portland normal (CPN 40) proveniente de una fábrica ubicada en la Provincia de Buenos Aires.

Agregado Fino: constituido por arena natural silíceas proveniente de un yacimiento ubicado al sur de la Provincia de Buenos Aires, que cumple con las especificaciones de calidad dadas por la Norma IRAM 1627 (IRAM 1627, 1997).

Agregados gruesos, se emplearon tres tipos:

- a) **Natural:** constituido por canto rodado cuyo tamaño máximo nominal es 25 mm. Este agregado cumple con los límites granulométricos indicados en la Norma IRAM 1627, y proviene de la misma cantera que el agregado fino.
- b) **Reciclado:** El hormigón a reciclar se obtuvo de la trituración de elementos de hormigón elaborado con canto rodado, proveniente de distintas obras realizadas en la zona. Se molió el material a reciclar con el empleo de una trituradora de mandíbulas. El tamaño máximo nominal del material resultante fue de 25 mm.
- c) **Reciclado con tratamiento previo:** el material mencionado en el inciso b) fue sometido a los diferentes tratamientos anteriormente mencionados

Con el objetivo de comparar el comportamiento de los diferentes hormigones proyectados, se los denominó como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Denominación hormigones

| Denominación | Características |
|---|--|
| P | 100% Agregado grueso natural |
| R | 50% Agregado grueso reciclado sin tratamiento previo |
| Tratamientos previos al mezclado | |
| L | 50% Agregado grueso reciclado con tratamiento previo: Lechada de Cemento |
| | L1* - Relación agua/cemento del tratamiento: $a/c = 0,50$ |
| | L2* - Relación agua/cemento del tratamiento: $a/c = 0,74$ |
| | L3* - Relación agua/cemento del tratamiento: $a/c = 1,00$ |
| A | 50% Agregado grueso reciclado con tratamiento previo: Producto A |
| B | 50% Agregado grueso reciclado con tratamiento previo: Producto B |
| Tratamientos simultáneos al mezclado | |

| | |
|----|--|
| LS | 50 % Agregado grueso reciclado con tratamiento previo simultáneo |
| | LS1 - Variante 1 |
| | LS2 - Variante 2 |
| | LS3 - Variante 3 |
| | LS4 - Variante 4 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

*Para poder diferenciar los hormigones, de acuerdo a la cantidad de días transcurridos entre la realización del tratamiento previo sobre el agregado grueso reciclado y el día de hormigonado, a la denominación se le incorporó un subíndice indicativo de la cantidad de días antes mencionada. Por ejemplo, se indicó L1₂₁ a aquellos hormigones en los que se utilizó agregado grueso reciclado con tratamiento previo L1, elaborados luego de 21 días de la realización del mismo.

Las dosificaciones de los hormigones mencionados previamente, están detalladas en la Tabla 2, diferenciándose la correspondiente al hormigón patrón sin agregado reciclado (P), de la utilizada para los casos en que se usó agregado reciclado, ya sea con o sin tratamiento previo (50 % A.R.).

Los hormigones se diseñaron teniendo en cuenta que cumplieran con un rango de consistencia de 8-10 cm, medida con el cono de Abrams (IRAM 1536, 1978). Todas las muestras presentaron un grado de trabajabilidad aceptable, sin observarse indicios de segregación ni exudación.

Tabla 2: Proporciones de la serie de mezclas realizadas con a/c = 0,50

| Mezcla | P | 50% A.R. |
|---------------------------------------|-----|----------|
| Cemento (kg/m ³ Hº) | 350 | 350 |
| Canto Rodado (kg/m ³ Hº) | 930 | 465 |
| Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº) | 0 | 443 |
| Agr. Fino (kg/m ³ Hº) | 895 | 895 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

En el caso de los tratamientos simultáneos al mezclado de materiales (LS1; LS2; LS3 y LS4), la carga de la hormigonera se realizó en dos etapas, las dosificaciones en cada etapa se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3: Etapas de mezclado en los tratamientos previos

| Mezcla | Relación a/c lechada | Etapa | |
|---------------------------------------|----------------------|---------|---------|
| | | Primera | Segunda |
| LS1 | 0,50 | | |
| Agua (l/m ³ Hº) | | 43,8 | 131,2 |
| Cemento (kg/m ³ Hº) | | 87,6 | 262,4 |
| Canto Rodado (kg/m ³ Hº) | | 0 | 465 |
| Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº) | | 443 | 0 |
| Agr. Fino (kg/m ³ Hº) | | 0 | 895 |

| LS2 | | Primera | Segunda |
|---------------------------------------|------|----------------|----------------|
| Agua (l/m ³ Hº) | 0,50 | 87,5 | 87,5 |
| Cemento (kg/m ³ Hº) | | 175 | 175 |
| Canto Rodado (kg/m ³ Hº) | | 0 | 465 |
| Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº) | | 443 | 0 |
| Agr. Fino (kg/m ³ Hº) | | 0 | 895 |
| LS3 | | Primera | Segunda |
| Agua (l/m ³ Hº) | 1,00 | 43,8 | 131,2 |
| Cemento (kg/m ³ Hº) | | 43,8 | 306,2 |
| Canto Rodado (kg/m ³ Hº) | | 0 | 465 |
| Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº) | | 443 | 0 |
| Agr. Fino (kg/m ³ Hº) | | 0 | 895 |
| LS4 | | Primera | Segunda |
| Agua (l/m ³ Hº) | 1,00 | 87,5 | 131,2 |
| Cemento (kg/m ³ Hº) | | 87,5 | 262,5 |
| Canto Rodado (kg/m ³ Hº) | | 0 | 465 |
| Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº) | | 443 | 0 |
| Agr. Fino (kg/m ³ Hº) | | 0 | 895 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

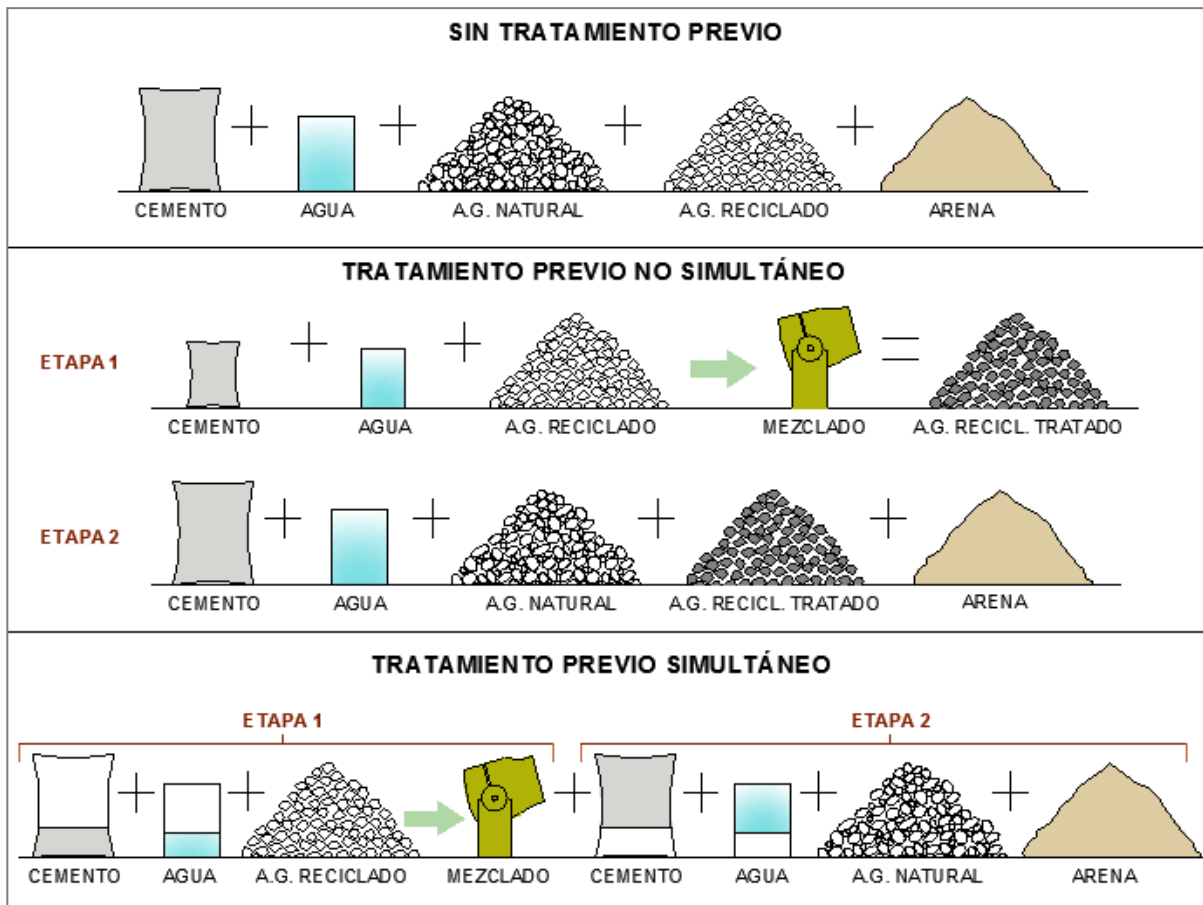
Tratamientos previos

En todos los tratamientos realizados sobre el hormigón reciclado, se efectuó el siguiente procedimiento:

- a) Incorporación del agregado reciclado en la hormigonera;
- b) Incorporación del cemento o producto impermeabilizante;
- c) Mezclado de los materiales;
- d) Incorporación del agua;
- e) Mezclado durante 5 minutos;
- f) Volcado del material tratado;
- g) Dispersión del material para evitar el aglomerado de pasta y agregado; y
- h) Movimiento del material tratado, 2 veces por día durante 2 o 3 días, hasta notar que esté la superficie seca.

En la Figura 1 se muestra, esquemáticamente, el procedimiento utilizado para los diferentes tratamientos, poniendo como referencia, al hormigón reciclado sin tratamiento previo.

Figura 1: Esquema de los tratamientos previos realizados



Fuente: Figura realizada por el autor.

Elaboración de muestras

Probetas

Se moldearon probetas cilíndricas de 10 x 20 cm para realizar los ensayos físicos de capacidad y velocidad de succión capilar (IRAM 1871, 2004) y probetas cilíndricas de 15 x 30 cm para los ensayos mecánicos de resistencia a compresión (IRAM 1546, 1992) y tracción simple por compresión diametral (IRAM 1658, 1995). Se moldearon y curaron de acuerdo con la normativa vigente en nuestro país (IRAM 1534, 2004).

Resultados

En la Tabla 4 se puede apreciar un detalle de los resultados obtenidos en los ensayos, tendientes a la caracterización de las propiedades mecánicas de todos los hormigones elaborados y en la Tabla 5 se muestran los valores que se determinaron en el ensayo de absorción capilar obtenidos para las diferentes variantes planteadas.

Tabla 4: Características mecánicas de los hormigones empleados

| HORMIGONES | | Compresión [MPa] | Tracción [MPa] |
|------------|------------------|---------------------|-------------------|
| P | | 36,4 | 3,6 |
| R | | 32,6 | 3,0 |
| L1 | L1 ₁ | 33,1 | 3,1 |
| | L1 ₃ | 31,7 | 2,9 |
| | L1 ₇ | 31,1 | 2,7 |
| | L1 ₁₄ | 30,6 | 2,8 |
| | L1 ₂₁ | 32,5 | 3,1 |
| | L1 ₂₈ | 30,9 | 3,2 |
| L2 | L2 ₁ | 32,8 | 2,8 |
| | L2 ₃ | 35,1 | 2,9 |
| | L2 ₇ | 29,2 | 2,8 |
| | L2 ₁₄ | 29,1 | 2,9 |
| | L2 ₂₁ | 35,8 | 2,5 |
| | L2 ₂₈ | 30,6 | 2,8 |
| L3 | L3 ₁ | 34,4 | 3,0 |
| | L3 ₃ | 27,2 | 2,9 |
| | L3 ₇ | 31,7 | 3,4 |
| | L3 ₁₄ | 29,7 | 3,0 |
| | L3 ₂₁ | 30,3 | 3,2 |
| | L3 ₂₈ | 32,8 | 2,8 |
| A | | 34,5 | 3,4 |
| B | | 25,5 | 2,7 |
| LS1 | | 36,0 | 3,0 |
| LS2 | | 34,7 | 3,1 |
| LS3 | | 34,4 | 3,5 |
| LS4 | | 35,2 | 3,2 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Tabla 5: Capacidad (C) y velocidad de succión capilar (S) de los distintos hormigones elaborados

| HORMIGONES | | C [g/m ²] | S [g/m ² s ^{1/2}] |
|------------|-----------------|--------------------------|---|
| P | | 4023 | 7,9 |
| R | | 7069 | 14,8 |
| L1 | L1 ₁ | 3908 | 5,1 |

| | | | |
|------------|------------------------|------|------|
| | L1₃ | 5057 | 9,2 |
| | L1₇ | 4368 | 10,6 |
| | L1₁₄ | 3333 | 5,4 |
| | L1₂₁ | 4483 | 7,5 |
| | L1₂₈ | 3448 | 4,9 |
| L2 | L2₁ | 4713 | 8,8 |
| | L2₃ | 5287 | 8,9 |
| | L2₇ | 4943 | 10,1 |
| | L2₁₄ | 5230 | 10,4 |
| | L2₂₁ | 4253 | 7,3 |
| | L2₂₈ | 3908 | 6,7 |
| L3 | L3₁ | 4195 | 5,8 |
| | L3₃ | 5172 | 9,2 |
| | L3₇ | 3678 | 6,9 |
| | L3₁₄ | 3736 | 5,6 |
| | L3₂₁ | 3793 | 6,6 |
| | L3₂₈ | 3448 | 4,8 |
| A | | 4736 | 7,8 |
| B | | 6079 | 13,0 |
| LS1 | | 4425 | 7,9 |
| LS2 | | 4483 | 8,5 |
| LS3 | | 4713 | 7,6 |
| LS4 | | 4540 | 7,2 |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Discusión

Los resultados de resistencia a compresión del hormigón indican que al reemplazar un 50 % del agregado natural por agregado reciclado sin tratamientos previos, se obtiene un material de buena prestación, como para ser utilizado en estructuras resistentes. Sin embargo, los valores de absorción capilar son elevados respecto a los hormigones elaborados en forma convencional.

Los hormigones elaborados con agregado grueso reciclado, al que se le aplicó previamente un tratamiento de lechada de cemento o de producto A, mostraron similar comportamiento mecánico y de succión capilar que el hormigón patrón realizado sin la utilización de agregados reciclados (P). Aquellos elaborados con agregado reciclado sin tratamiento previo y con el tratamiento de producto B, mostraron valores inferiores de resistencia mecánica (Tabla 4) y los más elevados de absorción capilar (Tabla 5).

No se puede apreciar una tendencia, en los valores de resistencia a compresión y de capacidad de succión capilar de los hormigones realizados, respecto a los días de secado del agregado luego del

tratamiento. Si bien los valores de absorción obtenidos el día 28 de secado, fueron los menores en todos los casos, en el TP1 los valores obtenidos para 1 día de secado fueron muy similares a estos últimos. Tampoco se apreciaron grandes diferencias respecto a la variación de la relación a/c de cada lechada, aplicada en los tratamientos previos.

Los hormigones elaborados con agregado grueso reciclado, al que se le aplicó un tratamiento de lechada de cemento, simultáneo al mezclado de materiales (LS1 a LS4) mostraron similar comportamiento mecánico y de succión capilar que el hormigón patrón realizado sin la utilización de agregados reciclados (P).

Los tratamientos previos simultáneos al mezclado, permiten una aplicación más fácil, directa y económicamente viable en las prácticas habituales de construcción, que aquellos que se realizan en forma no simultánea. Ambas opciones presentan buenos resultados, brindando diferentes alternativas a la hora de elaborar hormigones reciclados.

CONCLUSIONES

Los valores de absorción capilar observados en todos los casos en los que no se aplicaron tratamientos previos, se mostraron elevados respecto a los hormigones elaborados en forma convencional, esto se debe al hecho que los agregados de hormigón triturado poseen una mayor porosidad. Por este motivo, el hormigón elaborado con agregados reciclados, es un material más vulnerable frente al ingreso de agentes externos que pueden producir reacciones deletéreas y afectar su durabilidad.

Los hormigones elaborados, con reemplazo del 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado de hormigón, al cual se le aplicaron los tratamientos previos de lechada de cemento y de producto A, mostraron una clara modificación de su estructura de poros, respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo, presentando un comportamiento mecánico y de absorción capilar similares al que posee el al hormigón patrón, realizado sin la utilización de agregado reciclado.

La utilización del producto B para la realización del tratamiento previo del agregado reciclado, no permitió una importante disminución de la absorción capilar del hormigón elaborado utilizando el mismo como agregado grueso.

Los hormigones elaborados, con un reemplazo del 50% del agregado grueso natural por agregado reciclado de hormigón, al cual se le aplicaron los tratamientos previos de lechada de cemento, variando la relación agua/cemento de la lechada (L1, L2 y L3) y los días de secado del agregado luego del tratamiento (1 a 28 días), mostraron una clara modificación de su estructura de poros, respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo, presentando un comportamiento similar al hormigón patrón, realizado sin la utilización de agregado reciclado.

Los valores de resistencia a compresión y de absorción capilar de los hormigones y tratamientos mencionados en el párrafo anterior, no muestran variaciones apreciables para los diferentes casos, esto permite afirmar que para el rango de relaciones agua/cemento utilizado en este estudio, la alternativa más conveniente desde el punto de vista económico, sería el uso de la mayor de ellas (agua/cemento = 1). Además, estos resultados muestran la versatilidad de realización del tratamiento previo, pues no requiere de tanta precisión.

El tiempo de secado de la lechada con la que se trató el agregado reciclado no influyó en los resultados finales. Esto se cumplió para todas las relaciones a/c de las lechadas.

Los hormigones elaborados, con reemplazo del 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado de hormigón, al cual se le aplicaron los tratamientos previos simultáneos al mezclado mostraron una clara modificación de su estructura de poros, respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo, presentando un comportamiento mecánico y de absorción capilar similar al hormigón patrón, realizado sin la utilización de agregado reciclado.

El uso de estos tratamientos previos al agregado reciclado de hormigón, es una alternativa para mejorar la estructura de poros del hormigón elaborado con dicho agregado, y llevarlo a un comportamiento similar al de un hormigón tradicional. Siendo las opciones LS1 a LS4 (simultáneas al mezclado), las que brindan una aplicación simple y directa en la industria de la construcción.

La aplicación de los tratamientos simultáneos al mezclado son las opciones de mayor viabilidad económica, pues no generan costos adicionales en su aplicación y mantiene los beneficios económicos y sociales que implica la utilización del agregado reciclado.

La aplicación de los tratamientos no simultáneos al mezclado implica un aumento en los costos de producción de hormigón, que varía según el material con el cual se hace el tratamiento, siendo el cemento el producto que brinda mayores beneficios a menores costos. Si bien la realización de este tipo de tratamientos es más compleja y antieconómica, abre la posibilidad de utilización de diversos productos para realizar los tratamientos, incluso se podría estudiar la utilización de desechos reciclados de distinta procedencia.

Bibliografía

- Evangelista, L. & de Brito, J. (2014). Concrete with fine recycled aggregates: a review. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 18 (2), pp. 129–72.
- Federal Highway Administration. (1985). *Recycling Portland Cement Concrete*. DP-47-85. Washington, D.C.
- Gómez, J.M., Agulló, L. & Vázquez, E. (junio, 2001). Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto. *Construcción y Tecnología IMCYC*, vol. XIII, Nº 157, pp. 10-22.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1627 (1997). *Agregados. Granulometría de los agregados para hormigón*. IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1534 (2004). *Hormigón. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y tracción por compresión diametral*. IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1536 (1978). *Hormigón fresco de cemento Portland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono*. IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1546 (1992). *Hormigón de cemento portland. Método de ensayo de compresión*. IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1658 (1995). *Hormigón. Método de ensayo de tracción simple por compresión diametral*. IRAM, Buenos Aires.

- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1871 (2004). Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido. IRAM, Buenos Aires.
- Lin, Y., Tyan, Y., Chang, T. & Chang, C. (2004). An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 1373-80.
- Ryu, J.S. (2003). An experimental study on the effect of recycled aggregate on concrete properties. *Magazine of Concrete Research*, vol. 54 (1), pp. 7-12.
- Villagrán Zacardi, Y., Taus, V., Zega, C. Di Maio, A. & Traversa, L. (2005). Propiedades de transporte en hormigones convencionales y reciclados y su influencia en la corrosión de armaduras. Simposio Internacional *fib* "El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo". La Plata, vol. 1, pp. 91-8.
- Warner, J. (marzo, 1993). NSA Recycling Position Paper. Reuse and Recycling of Concrete. ConExpo 93, (Seminar handout K-1 and L-1), Milwaukee.
- Zega, C. (2010). Propiedades físico-mecánicas y durables de hormigones reciclados. (Tesis de doctorado inédita). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ingeniería, Área Departamental Construcciones, La Plata.
- Zega, C. & Di Maio, A. (2011). Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. *Waste Management*, vol. 31, pp. 2336-40.

Autores

Juan M. Moro, Ingeniero Civil, Tesista Doctoral CONICET, Docente del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Se especializa en Sustentabilidad en la Construcción.

Romina S. Meneses, Ingeniera Civil, Tesista Doctoral, Docente del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Se especializa en Durabilidad de las Estructuras de Hormigón.

Lilia N. Señas, Ingeniera Civil, Profesor en el Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Participante de proyectos de investigación. Especialista en temas vinculados a la tecnología del hormigón. Asesor de empresas nacionales y multinacionales en el ejercicio libre de la profesión. Jefe del Laboratorio de Estudio y Ensayo de Materiales, UNS.

Carla V. Priano, Ingeniera Civil, Doctora en Ingeniería, Docente del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Participante de proyectos de investigación sobre temas vinculados a tecnología del hormigón. Trabajos de transferencia de tecnología al medio en el Laboratorio de Estudio y Ensayo de Materiales, UNS.

Néstor F. Ortega, Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería, Posdoctorado en el C.E.D.E.X., Madrid, y en el Instituto de Ciencias de la Construcción E.Torroja, Madrid. Profesor Titular y Director Decano del Dep. Ingeniería, de la Universidad Nacional del Sur. Se especializa en Sustentabilidad en la Construcción y Durabilidad de las Estructuras de Hormigón.

12. Gestión de los residuos de construcción

Sistema BIM de cuantificación automática de los residuos de construcción y demolición. Método de transferencias ponderadas de la medición

Pilar Mercader-Moyano¹, Antonio Ramírez de Arellano-Agudo², Elías Cózar-Cózar³, Daniel José Ruesga-Díaz⁴

Resumen

La gestión sostenible de los residuos se ha convertido en una preocupación creciente, y se considera en la actualidad una de las prácticas más efectivas para solventar los problemas que genera el sector de la construcción.

Este artículo presenta una metodología de medición de los residuos de construcción y demolición (RCD) mediante el método de transferencias ponderadas de la medición, permitiendo usar cualquier Base de Datos de Costes de Construcción. Además, al contrario que otros estudios recientes en este campo, el método posibilita cuantificar los RCD en unidades de peso actuando su cuantificación selectiva por su material original y también por su impacto medioambiental y coste.

Para mostrar el rendimiento de la metodología, se presenta una aplicación práctica para un sistema constructivo de un edificio residencial en España. Este método contribuye a la mejora de la gestión de los residuos de construcción.

Palabras clave: Residuos de Construcción y Demolición (RCD), gestión de residuos, Building Information Modeling (BIM), clasificación selectiva de RCD, cuantificación de RCD.

BIM based system of automatic generation of the quantification of construction and demolition waste. Weighted transfers of measurement methodology

Abstract

Sustainable management of construction and demolition waste has become a growing concern and it is currently considered as the most effective practice to solve the problems that construction sector generates.

¹ y ⁴ Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Av. Reina Mercedes 2. C.P. 41012 Sevilla, España.

² y ³ Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Av. Reina Mercedes 4. C.P. 41012 Sevilla, España.

This paper presents a methodology to measure the construction and demolition waste (CDW) by applying the weighted transfers of measurement methodology, in order to use any Construction Cost Database. In addition, unlike recent studies in this field, this method allows to quantify the CDW in units of weight performing its selective quantification by identifying the original material and also its environmental impact and costs.

To show the performance of the methodology, it is presented a practical application to a constructive system in a residential building of Spain. This method contributes to the improvement of the construction waste management.

Keywords: Construction and demolition waste (CDW), waste management, Building Information modeling (BIM), CDW selective classification, CDW quantification.

Introducción

La conciencia social sobre el impacto ambiental se ha convertido en una preocupación creciente en la sociedad debido a todos los fenómenos que muestran el daño cada vez mayor que el medioambiente está sufriendo en forma de contaminación del aire, del suelo y las aguas subterráneas, el calentamiento global, y la falta de conservación de los recursos naturales. Aunque, en el caso de España, la actividad del sector de la construcción ha entrado en una disminución debido al cambio del ciclo económico, el impacto ambiental causado por este tipo de residuos, o más bien, por su gestión, debe seguir siendo una preocupación constante en todo el mundo (Villoria-Sáez et al., 2014).

Uno de los objetivos de la Comisión Europea es eliminar el vertido de residuos reciclables para el año 2025 y casi todos los vertederos para el año 2030. Una de las ideas posibles implica la separación de los materiales por su tipo y el uso de métodos solventes para calcular las tasas de reciclaje (European Commission, 2014).

Numerosas investigaciones en los últimos años han tratado de crear modelos que calculan con precisión una cuantificación y clasificación de los residuos desde la etapa de diseño del proyecto. De esta forma, se predicen posibles tipos de residuos generados in-situ, evitando de esta manera la clasificación selectiva. Así, se facilita tanto la gestión adecuada de estos residuos como el traspaso a los vertederos especializados que admiten el reciclaje, (Coelho & Brito, 2011 y Mercader-Moyano & Ramírez de Arellano-Agudo, 2013 entre otros).

En los últimos años, algunos investigadores han examinado estos métodos de estimación con el fin de mejorarlos, proporcionando herramientas de medición y software (Jack & Lauren, 2012) o mediante el establecimiento de indicadores y parámetros que describen los residuos generados por la actividad de la construcción (Villoria-Sáez et al., 2014 y Yuan & Shen, 2011).

Entre estos, la investigación de Jack y Lauren (2012) muestra un sistema basado en Building Information Modelling (BIM) para la Estimación y Planificación de la Demolición y Renovación de Desechos en Hong Kong.

Cheng y Ma (2013) también han desarrollado un sistema basado en BIM que puede obtener información sobre el volumen de cada elemento y el tipo de material de la construcción de edificios y de los residuos de demolición. Sin embargo, este sistema no puede expresar la cantidad de RCD en unidades de volumen además que el cálculo se realiza mediante el uso de diferentes factores de forma manual. Por lo tanto, tanto el cálculo como la información obtenida, que se expresa en unidades de volumen, hacen que el modelo no sea adecuado a la realidad.

La introducción de nuevas tecnologías y herramientas informáticas logran con gran rigor agilizar el proceso de cuantificación de recursos materiales consumidos y sus costes en los proyectos de construcción, permitiendo además disminuir los errores en la cuantificación como demuestran los trabajos de Wong et al. (2014), que señalan la relación entre la capacidad de BIM en la cuantificación de la cantidad y el rendimiento del proyecto.

En consonancia con lo expuesto, es fundamental reducir la cantidad de residuos generados en el proceso de edificación para minimizar el impacto ambiental y preservar los recursos naturales; por ello resulta de interés utilizar las nuevas herramientas informáticas que la tecnología pone a disposición para ayudar a prevenir, de forma eficiente y desde la fase de proyecto, la cantidad de RCD que se generará en la construcción, considerada la fuente dentro del proceso de gestión de RCD.

Esta investigación posibilita identificar y cuantificar de forma rápida y concreta, desde la fase de proyecto, los residuos normalmente generados en las fases de construcción, así como el origen de los residuos con respecto a los materiales de construcción. Todo ello mediante la adaptación a BIM del Método de las Transferencias Ponderadas de la medición patentado por los autores.

El objetivo del método es determinar, durante la construcción del proceso de construcción, la cantidad RCD generado, de acuerdo con la hipótesis de que este RCD es proporcional a la cantidad de materiales de construcción consumida. Por lo tanto, los coeficientes se utilizan para medir la cantidad de materiales consumidos que luego se convierten en residuos y se originaron a partir del estudio de los diferentes procesos de construcción de edificios, que se utiliza como referencia en la investigación original, por su aplicación a muchos edificios durante doce años (Fatta et al., 2003).

La aparición de software BIM, metodología integradora de software, suponen el siguiente paso evolutivo en la determinación de las cantidades pudiendo obtener de forma automática las mediciones de elementos constructivos y materiales desde un modelo BIM con una trazabilidad absoluta entre las líneas de medición y los objetos 3D o elementos constructivos del proyecto, lo cual facilita y agiliza además todo el proceso de diseño y ejecución de trabajos de construcción para el buen desarrollo de la obra.

Se comprueba que entre sus cualidades proporciona la generación de forma automática de unas mediciones exhaustivas en un tiempo reducido, permitiendo mejorar las carencias del modelo de cuantificación de RCD si se pudiese lograr su adaptación a la citada herramienta.

Para ello, es necesario analizar la información de los objetos virtuales y la información que debe asociarse o generarse con la creación de cada uno de ellos para posteriormente filtrarla y organizarla según las reglas y métodos de cuantificación, unidades de medida, criterios de medición, inclusiones...

Todo ello conlleva a determinar que los procedimientos de modelado y creación de objetos son cruciales para poder generar de forma automática mediciones fidedignas conforme a las normas establecidas que sean de aplicación. Es necesario elaborar, tras profundos análisis, procedimientos de modelado BIM que conduzcan a obtener de forma fiable las mediciones del modelo, de lo contrario este objetivo resultaría imposible.

Esta adaptación, actualiza el modelo a los nuevos tiempos, ganando eficacia, rapidez y precisión; ya que proporcionará realizar la cuantificación y clasificación selectiva de los RCD que se prevé que se producirán en la ejecución de una obra de edificación desde la fase de proyecto de forma automática, a la vez que facultará la realización de mediciones y presupuestos necesarios en todo

proyecto de edificación, no siendo objeto de la investigación al quedar implícito de forma automática en el proceso.

Metodología

El desarrollo del Modelo de cuantificación de RCD mediante BIM, se realiza utilizando como soporte instrumental una estructura de referencia, apoyada en un proceso organizado en las siguientes etapas, que responden a un orden jerárquico establecido, que conducirá a la cuantificación de los residuos de construcción generados en obra, desde la fase de proyecto. El caso práctico cuantificará y clasificará los residuos que se espera se generen en la estructura de un edificio tipo modelizado en BIM.

Etapas 1. Clasificación de residuos de construcción. Para obtener la cantidad de cada elemento de proyecto que genera un residuo, se clasifican los recursos consumidos siguiendo el capítulo 17. Gestión de Residuos, del sistema de clasificación de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía.

Etapas 2: Conversión de recursos consumidos en residuos generados. Se identifican y cuantifican los residuos que se generarán mediante la Medición Indirecta por Transferencias Ponderadas, sirve como instrumento para facilitar la determinación de la cantidad de RCD, en función de la medición de los elementos constructivos que los originan, utilizando la siguiente formulación (Fórmula 1):

$$Q_r = \varphi \times \sum Q_{mn} = (CR_m \times CT_m \times CC_m) \times \sum Q_{mn} \quad (1)$$

Modelo matemático generado a partir de método general de Medición por Transferencias Ponderadas (MTP), en el que se acepta la hipótesis de proporcionalidad entre la cantidad de residuos que se generan y la cantidad de producto que se consume.

Donde:

- Q_r = Cantidad de residuos
- φ = Coeficientes del material
- Q_{mn} = Cantidad de material que proporciona el residuo por cada categoría.
- CR_m = Coeficiente del material para medir la parte del elemento básico o auxiliar origen que se convierte en residuo.
- CC_m = Coeficiente del material para convertir la unidad de medida del elemento básico o auxiliar origen en la unidad de medida de la partida de destino.
- CT_m = Coeficiente del material para transformar el criterio de medición del elemento básico o auxiliar origen en el criterio de medición de la partida destino.

Etapas 3. Cuantificación de los residuos de construcción generados mediante BIM. Se cuantifican los residuos generados en la ejecución de la estructura del edificio tipo, expresando los resultados en las unidades de medida asociadas a las bases de costes asociadas, para finalmente, clasificar y agrupar los diferentes residuos materiales generados.

A través de los componentes de la descomposición de los precios unitarios, donde se indica la cantidad de cada elemento básico o auxiliar por unidad de medida de cada precio unitario, se puede conocer que la cantidad de cada elemento básico o auxiliar del proyecto, que será la sumatoria de los

resultados de multiplicar la medición de la partida por la cantidad por unidad de medida del elemento básico o unitario.

Gracias a los modelos BIM se puede obtener todo tipo de información de cualquier elemento, pudiendo obtener la medición de cualquier elemento básico o auxiliar, que esté modelado, según su unidad de medida y criterio de medición.

Para la realización del caso práctico y obtener las cantidades de residuos de hormigón y acero generados durante la ejecución de la cimentación del edificio prototipo, se adapta el modelo MTP a modelos BIM y se asocia al programa de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) por los motivos expuestos anteriormente.

El proceso a seguir es el siguiente:

En el caso práctico cimentación estructural de zapatas de hormigón armado, las partidas analizadas son las correspondientes al capítulo 17. Gestión de Residuos de la BCCA, concretamente:

- 17AHA00120 kg (codificación según BCCA) Retirada de residuos de acero, a una distancia máxima de 10 km.
- 17HHH00120 m³ (codificación según BCCA) Retirada de residuos de hormigón a planta de valorización, situada a una distancia máxima de 10 km.

De estas partidas se pretende medir:

- Los residuos de acero producidos durante la ejecución de las obras; esto es, el peso de acero que no queda integrado de forma definitiva en la estructura y que como residuo es llevado a planta de valorización.
- Los residuos de hormigón producidos durante la ejecución de las obras; esto es, el volumen de hormigón que no queda integrado de forma definitiva en la estructura y que como residuo es llevado a planta de valorización.

Etapas 3.1. Modelar el elemento constructivo del que se quiere conocer los residuos que se generan. Esto es, identificar gráficamente utilizando software BIM cada elemento constructivo del proyecto, así como sus características físicas contenidas en los epígrafes de la relación de partidas correspondiente a la Base de Costes empleada. Utilizando las técnicas y herramientas necesarias (herramientas de construcción de Autodesk Revit: suelos, losas, pilares, etc.) se modelan los conjuntos de elementos, con especial atención en el caso práctico en el modelado de la topografía que alberga las zapatas y de las armaduras que constituyen la cimentación estructural del edificio tipo.

Etapas 3.2. Aplicación de la herramienta Autodesk Revit para obtener la cuantificación automática de los residuos que generan los elementos constructivos o materiales de un proyecto. Para el desarrollo de esta etapa es fundamental un profundo conocimiento de Autodesk Revit, utilizado por su capacidad para crear elementos constructivos con herramientas específicas, mediante la edición de bocetos y definición de sus componentes, o mediante un editor de familias que concede la generación de cualquier tipo de geometría sólida por extrusiones, barridos, etc., así como la creación de parámetros dimensionales asociados a la geometría generada.

Etapas 3.3. Parametrización y asignación de valores a los elementos constructivos. La información paramétrica que ofrece el programa Revit, de la que se recuerda que puede ser de tipo o de

ejemplar, pero que no permite actualmente realizar cuantificación alguna de los residuos que generan.

La herramienta “computo de materiales”, dejará añadir todos los parámetros necesarios para obtener la cantidad de recurso material consumido en la ejecución del elemento constructivo del que se quiere cuantificar los residuos que se espera se generen en su puesta en obra.

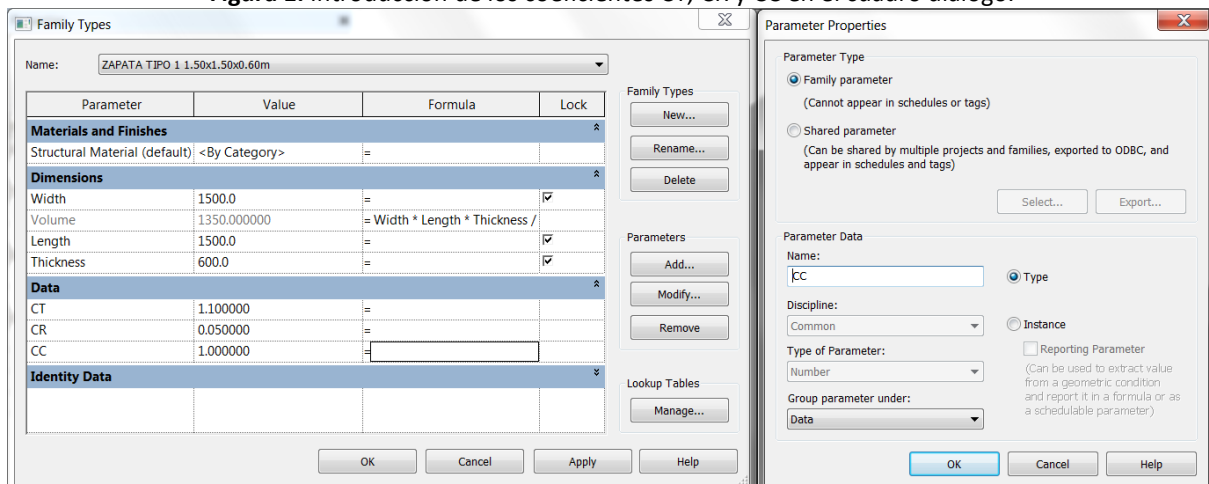
Los parámetros que son necesarios crear e introducir sus valores en el programa, son los correspondientes a los coeficientes, CR, CC y CT, obtenidos en la etapa 2 de la metodología. Son creados a través del cuadro de diálogo “propiedades de cómputo de materiales”, que posibilitará a su vez definir todas las características de los nuevos parámetros.

Los parámetros de proyecto a crear serán de “tipo”, puesto que serán iguales para todos los ejemplares de un mismo tipo, sólo variarán en caso de que varíe el material empleado. Se nombran y seleccionan número en tipo de parámetro; esto es fundamental para poder crear valores calculados a partir de ellos. De esta forma se crea los parámetros correspondientes a los coeficientes de ponderación CR, CC y CT y se rellenan sus valores tomados del modelo MTP. Los valores serán los mismos para todos los tipos de familia, pues los coeficientes no dependen de las dimensiones, sino del material que origina el residuo.

Introducidos de esta forma todos los valores correspondientes a los coeficientes del apéndice, se obtiene de forma automática la cuantificación de residuos a la vez que se realiza la volumetría de cualquier proyecto de edificación. Con total seguridad se puede afirmar que los valores introducidos en el ejemplar se encuentran asignados al resto de ejemplares del proyecto por tratarse de parámetros de tipo.

El resultado final es el que se muestra en la Figura 1 siguiente obtenida del programa, donde se pueden observar la inserción de los coeficientes y sus valores.

Figura 1. Introducción de los coeficientes CT, CR y CC en el cuadro diálogo.



Fuente: Figura realizada por el autor.

Una vez creados los parámetros y definida la Fórmula 1 para el valor calculado correspondiente a la “cantidad de residuos”, los resultados son automáticos.

Es preciso señalar, que algunos elementos, como por ejemplo el acero en barras corrugadas, requiere la introducción en el programa de un parámetro adicional, como es el “peso barra”, ya que no viene por defecto en Revit y es necesario para poder cuantificar el peso total de las barras de

acero del modelo y los residuos generados por este material, ya que la unidad de medida del acero según la BCCA utilizada es el kg.

Con ello se termina de parametrizar y asignar valores a todos los elementos del proyecto, en este momento el modelo contiene la información necesaria para poder realizar la medición completa de la gestión de residuos.

Etapa 3.4. Asociación de partidas de la Base de Costes a los elementos del modelo BIM. Para ello será necesario establecer vínculos entre los tipos de elementos constructivos y las partidas correspondientes de la BCCA, que se completan con los vínculos entre parámetros dimensionales y columnas del estadillo de mediciones. De esta manera, el programa podrá realizar de forma automática el volcado de la información del modelo sobre el documento mediciones y presupuesto.

Para la asociación de partidas con elementos y parámetros con dimensiones, se utiliza el programa MEDIT, ya que actualmente es el único software de mediciones que se integra en Revit y que permite realizar esta labor necesaria para poder obtener la medición de forma automática. Estas asociaciones permanecen en el tiempo, de tal forma que se puede seguir modelando y en cualquier momento generar una medición instantánea del modelo.

Una vez realizadas las asignaciones de partidas solo falta trasladar cada tipo con su partida al subcapítulo correspondiente del árbol del presupuesto (ventana central de MEDIT).

Finalmente, logradas todas las vinculaciones de partidas con elementos y parámetros con campos del estadillo de mediciones, se genera la medición de forma automática, que incluso se puede exportar a Excel.

Resultados

La aplicación de los conceptos y herramientas especificadas en el apartado anterior demuestra que es posible realizar la cuantificación de RCD que se espera se generen en la puesta en obra de un proyecto de edificación, de forma automática mientras se realiza el modelado de un proyecto en BIM, siendo necesarias herramientas adicionales como Autodesk Revit y Medit.

Su aplicación al caso práctico determina la cantidad de residuos generados durante la ejecución de la estructura de un edificio tipo modelado en BIM, permitiendo obtener el volumen total de residuos de hormigón y los kg totales de residuos de acero, así como la cantidad total de los recursos materiales consumidos en su ejecución.

La estructura del edificio tipo está constituida por una cimentación resuelta mediante zapatas aisladas y una zapata combinada central, todas ellas centradas. Las dieciséis zapatas aisladas del perímetro, de dimensiones 1,50 x 1,50 x 0,60 m, están atadas mediante vigas zuncho, mientras que las ocho restantes sin contar la zapata combinada, son de 1,90 x 1,90 x 0,60m. La zapata combinada central sobre la que asientan cuatro pilares es de 3,70 x 3,70 x 0,60 m de dimensiones. Los pilares son de hormigón armado y los forjados de planta primera y de cubierta están constituidos por losa de hormigón armado.

Se confeccionaron tablas de cómputo de este material para cada una de las categorías existentes en el proyecto, en el ejemplo; de tal forma que la sumatoria de las cantidades de material de cada categoría de modelo multiplicado por sus correspondientes coeficientes proporciona de forma automática la cantidad total de residuos generados por cada material en todo el proyecto. Los

resultados, expresados en las unidades de medida asignadas en la Base de costes utilizada, BCCA, quedan recogidos en la tabla 1 siguiente:

Tabla 1. Residuos generados en la ejecución de una estructura de hormigón armado de un edificio tipo.

| Estructura de hormigón armado | | | | | |
|---------------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| A | B | C | D | E | F |
| Recurso material consumido: Nombre | Recurso material consumido: Volumen/Peso | CR Recurso material consumido | CC Recurso material consumido | CT Recurso material consumido | Cantidad de Residuo generado / Recurso material consumido |
| Hormigón | 379,07 m ³ | 0,05 | 1,00 | 1,10 | 25,28 m ³ |
| Acero | 36.278,98 kg | 0,01 | 0,01 | 1,00 | 404,60 kg |

Fuente: Figura realizada por el autor.

Los resultados muestran que de los 379,07 m³ de hormigón armado consumidos en la ejecución de la estructura del edificio tipo, se generarán 25,28 m³ y que de los 36.278,98 kg de acero estructural necesario para el armado de la estructura del edificio, se generarán 404,60 kg de residuos de acero.

Conclusiones

Como conclusión del presente trabajo de investigación se puede decir que es posible cuantificar los RCD que se espera se generen en obra desde la fase de proyecto con software BIM y Autodesk Revit., con las siguientes limitaciones en la actualidad:

- No es posible asignar más de una partida a cada tipo de elemento constructivo virtual, ni realizar transferencias de medición, ni leer parámetros de valor numérico inferior a 0,01 con MEDIT.
- No es posible crear valores calculados para las familias de sistema en REVIT.

Por todo ello, sería de gran utilidad la creación de una herramienta complementaria a Revit, que contuviera una base de coeficientes de ponderación o normalización de las cantidades y que mediante la asignación de los mismos a los materiales devolviera en tiempo real la cantidad total de material del proyecto y los residuos generados. Esto posibilitará tomar decisiones de diseño encaminadas a la reducción de la generación de residuos durante la ejecución del proyecto.

Mientras tanto, en el presente trabajo se ha demostrado que es posible obtenerlos, mediante la introducción manual de los coeficientes y la formulación de transferencias ponderadas en el programa.

Bibliografía

- Cheng, JCP., Ma, LYH. (2013). A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. *Waste Management*, 33: 1539-1551.
- Coelho, A. and Brito, J. de. (2011). Generation of Construction and Demolition Waste in Portugal. *Waste Management & Research*, 29 (7): 739-750, doi: 10.1177/0734242X11402253.
- European Commission (2014). Eurostat statistics for waste flow generation.

- Fatta, D., Papadopoulos, A., Avramikos, E., Sgourou, E., Moustakas, K., Kourmoussis, F. et al. (2003). Generation and management of construction and demolition waste in Greece – an existing challenge. *Resources, Conservation and Recycling*, 40: 81-91.
- Jack, CPC. and Lauren, YHMa. (2012). A BIM-based System for Demolition and Renovation Waste Estimation and Planning. In 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Moscow. Kowloon, Hong Kong: The Hong Kong University of Science and Technology, HKUST Scholarly Publication.
- Mercader-Moyano, P., Ramírez-de-Arellano-Agudo, A. (2013). Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. *Waste Management & Research*, 31 (5): 458-474, doi: 10.1177/0734242X13477719
- Villoria Sáez, P., Del Río Merino, M., Porrás-Amores, C., San-Antonio González, A. (2014). Assessing the accumulation of construction waste generation during residential building construction Works. *Resources, Conservation and Recycling*, 93: 67-74.
- Wong, P.H, Salleh, H., Rahim, F.A. (2014). The Relationship of Building Information Modeling (BIM) Capability in Quantity Surveying Practice and Project Performance. *International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering*, 8 (10): 990-994.
- Yuan, H. and Shen, L. (2011). Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste management*, 31: 670-679.

Pilar Mercader-Moyano es Doctora Arquitecta, profesora contratada doctora acreditada titular del departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la ETSA de la Universidad de Sevilla. pmm@us.es

Antonio Ramírez de Arellano-Agudo es Doctor Economista y profesor jubilado del departamento de Construcciones Arquitectónicas II de la ETSIE de la Universidad de Sevilla. arellano@us.es

Elías Cózar-Cózar es doctorando del departamento de Construcciones Arquitectónicas II de la ETSIE de la Universidad de Sevilla. eliascozar@ono.com

Daniel José Ruesga-Díaz es Asistente Honorario del departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la ETSA de la Universidad de Sevilla. djruesga@gmail.com.

13. Sistemas e instalaciones sustentables

Sistema de implementos para baños secos. Inodoro y cámara de almacenamiento/tratamiento

Zoraida Bellagio, Rafael Cervera, Luciano Souza¹

Resumen

Este proyecto se desarrolla en el marco del trabajo final de la carrera de Diseño Industrial (FAUD, UNC), el cual fue planificado y realizado en su totalidad bajo la tutoría del INTI Regional Córdoba y del INTI Regional Buenos Aires.

El objetivo es diseñar y desarrollar un Sistema de Implementos para Baños Secos que se instalará en la Escuela de Oficios de la Universidad Nacional de Córdoba. Motivan este proyecto la imposibilidad de realizar pozos ciegos en la zona y la necesidad de buscar una alternativa a la red cloacal, ya que ésta no llega.

El baño que se instalará, será de carácter experimental, demostrativo y participativo, con el fin de informar a las personas acerca de los sistemas de saneamiento sustentables y romper con los prejuicios que se tienen sobre los mismos, buscando no alterar el modelo conceptual de los baños convencionales.

Se tomaron como premisas de diseño: que incorpore sistemas simples; que los elementos tipificados sean fácilmente reproducibles; que los recursos necesarios para su elaboración puedan ser adquiridos en el mercado nacional; que pueda competir en el mercado con los sistemas de saneamiento convencionales; y que su mantenimiento sea de bajo costo.

Palabras clave: saneamiento sustentable; baño seco; diseño industrial.

System implements for dry toilets. Toilet and camera storage / treatment

Abstract

This project has been realized within the framework of the final work of the Industrial Design career (FAUD, UNC), which was planned and carried out entirely under the tutelage of INTI Regional Córdoba and INTI Regional Buenos Aires.

The aim was to design and develop a urine-diverting dry toilet, its system and implements, to be installed at the Escuela de Oficios of the Universidad Nacional de Córdoba. The lack of connection to main sewage pipes in the area and the impossibility to install a septic tanks motivated the need to find an alternative sewer system.

¹ Los tres, alumnos de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba

The toilet installed will be experimental, demonstrative and participative, in order to inform people about sustainable sanitation systems and break down prejudices about them, with the objective to maintain the conceptual model of conventional toilets.

We used as design premises for this toilet: the use of simple systems; the creation of typify elements that could be easily produced; the availability to purchase in the national market the necessary goods for its manufacturing; the possibility to compete in the market with the conventional sanitation systems; and an inexpensive maintenance.

Keywords: sustainable sanitation; urine-diverting dry toilet; industrial design.

Introducción

Hoy en día gran parte de la información acerca de técnicas sustentables se maneja principalmente en un círculo de personas con una inclinación hacia la permacultura; ya sea llevándola como estilo de vida o interesadas en su investigación. Existen diversos procesos para sanear aguas servidas, llamados Ecosan² que permiten la reducción de contaminantes mediante la recuperación de residuos orgánicos humanos y la utilización económica del agua. Estos sistemas son flexibles, ya que permiten combinar elementos de sistemas de saneamiento convencionales con los de sistemas alternativos, permitiendo desarrollar una solución adecuada para cada posible situación.

Más allá de que se hayan y estén desarrollando estos sistemas, existen barreras culturales y rechazo por parte de la sociedad que hace que no se utilicen técnicas sustentables en sus actividades cotidianas, debido principalmente a no ver en las soluciones sustentables una respuesta holística concreta (resolución de todo el sistema completo y no sólo parte de éste, que incluye desde la instalación hasta el sostenimiento) y muchas veces carente de fundamentos científicos, diseño y mantenimiento. En los tiempos actuales, muchas veces se termina optando por soluciones 'cómodas' que resuelven las necesidades de manera inmediata sin pensar en las consecuencias negativas que tendrán lugar en un futuro no muy lejano.

En el presente trabajo tratamos el tema del agua, una problemática mundial que requiere de urgentes medidas de solución y lo abordamos desde su uso: actualmente se utilizan de 10 a 18 litros de agua potable cada vez que se vacía una mochila convencional, usándola meramente como vehículo de transporte cloacal con la consiguiente contaminación.

Los baños secos se presentan como una solución óptima, ya que no utilizan agua para su funcionamiento, y si bien esta técnica no es nueva ya que muchas culturas milenarias lo usaban hace más de cinco mil años, la readaptación a nuestras costumbres requiere, entre otros aspectos, de diseños que hagan de lo nuevo algo amigable, minimizando el impacto del cambio. Esta tipología de baños correctamente utilizados tienen un costo de mantenimiento bajo, no tienen olor, son higiénicos y limpios.³ Puede ser instalado en cualquier lugar siempre y cuando se contemplen factores como la planificación del almacenamiento y la disposición final de los residuos. El sanitario seco es uno de los pilares fundamentales de una vida sustentable en equilibrio con la biosfera.⁴

² Sistemas de Saneamiento Ecológico

³ Eautarcie. ¿Por qué elegir los sanitarios secos? www.eautarcie.org

⁴ Joseph Országh, La gestión sostenible del agua en el mundo

Es por eso que pensamos en la proyección de un sistema de implementos para baños secos como respuesta a una necesidad de la realidad de la Sede de la Escuela de Oficios en Ciudad Universitaria, para que usuarios potenciales estén en contacto con nuevos diseños mediante los cuales se pueden modificar actividades cotidianas básicas llevadas a cabo mediante prácticas más sustentables.

A los fines prácticos se dividió el sistema baño seco en tres subsistemas: infraestructura, implementos y recolección/tratamiento. En esta comunicación técnica se desarrollará con profundidad los subsistemas 1 y 2.



Fuente: Figura realizada por los autores

Subsistema de implementos para baños secos

El inodoro es la pieza más importante en este sistema, ya que es la que está en mayor medida, en contacto directo con el usuario y los futuros usuarios de baños secos. En esta parte del proyecto se priorizó como pilar principal la idea de mantener el pre-concepto mental que los usuarios ya tienen con respecto a los inodoros: estructura sólida cerámica que elimina residuos humanos de la vista con el accionamiento de un botón.

A nivel nacional existen ejemplos de inodoros secos, la mayoría de estos realizados de manera artesanal (y careciente de separación de orina) por los propios usuarios quienes los fabricaron en base a modelos contemporáneos⁵ partiendo de una tabla de inodoro de mercado con un tacho de 20 litros en la parte inferior que funciona como cámara de almacenaje. Algunos pocos usuarios tienen la posibilidad de comprar en el extranjero un inodoro separador fabricado en fibra de vidrio que no incluye el almacenamiento ni tratamiento.⁶ A nivel nacional, existen productores de inodoros que no llegan a una fabricación industrial y en su mayoría los realizan en mdf, fibra de vidrio y alto impacto.⁷

⁵ Existe mucha bibliografía para la construcción de baños, un ejemplo es www.tierramor.org/permacultura

⁶ En Capilla del Monte, Córdoba un usuario de baño seco compro su inodoro en Chile a U\$S 400

⁷ Un ejemplo de estos productores es Martin Monti en la localidad de Tandil, www.biosanita.com.ar

Conservando el modelo conceptual del inodoro, en este diseño no se manipula el material secante con la mano si no que una mochila de descarga lo almacena (capacidad para 48 descargas aproximadamente) y mediante el accionamiento del botón este cae por un mecanismo simple de tipo 'pala volcadora' en la cámara de almacenamiento. Es recomendable que el usuario vuelque con un atomizador una parte de agua luego de cada micción para evitar olores, se eliminó de este diseño la mochila de líquidos para respetar el nombre de baño seco. La ventilación y la limpieza del baño seco para evitar malos olores o incómodas visuales es fundamental; es recomendable mantener la tapa baja y limpiar el inodoro periódicamente (más en casos especiales) con un cepillo húmedo en el caso de la parte de la taza de residuos secos y con agua o productos naturales⁸ para la parte líquida.

El diseño de este inodoro está proyectado en su totalidad en cerámica, un material no poroso capaz de fabricarse en una sola pieza (evitando uniones), que permite mantener la higiene tanto exterior como interior con una limpieza fácil. Este material es de gran dureza y larga vida útil, capaz de adaptarse al nivel productivo local. Además, esta manera de producción nos permite modificar la pieza antes de cocinarla, acortando el inodoro y eliminando la mochila de descarga y mecanismo de caída (pasaría a ser volcado manualmente), transformándolo así en uno más pequeño.

Con este inodoro se buscó romper la barrera cultural que no favorece al uso de los baños secos, trasladando el concepto que tiene un inodoro convencional que todos conocen, alentando su utilización y evidenciando sus beneficios sustentables. Generando un producto atractivo, accesible y de calidad industrial.

Subsistema de recolección y tratamiento de excretas para baños secos

El sistema de recolección y tratamiento de excretas para baños secos permite la manipulación segura y el tratamiento de desechos humanos, impidiendo mediante contenedores cerrados el contacto directo con los mismos.

Este sistema fue diseñado para inodoros con desviación de orina ya que almacena por separado la orina y el material fecal para su posterior tratamiento.

La orina es almacenada en un contenedor IBC estándar de 800lt. y requiere como único tratamiento 30 días de estacionamiento a una temperatura promedio de 20°C. Luego de este tratamiento, puede ser utilizada como fertilizante orgánico si se diluye con agua en una proporción de 1:5 / 1:10 dependiendo del tipo de cultivo. En caso de que la orina no sea requerida un bypass permite descartar la misma mediante un sistema de infiltración o lecho nitrificante evitando de ese modo el almacenamiento innecesario.

La recolección y el tratamiento de los residuos sólidos (materia fecal, material secante y papel higiénico) se realiza mediante cámaras móviles diseñadas para favorecer el secado de las excretas, evitar el ingreso de moscas y favorecer la ventilación.

Agotada su capacidad, la cámara recolectora es reemplazada. El tratamiento de los residuos recolectados consiste en el estacionamiento con exposición solar durante 18 meses. El producto de este tratamiento puede ser utilizado como abono (no es recomendable su uso en producciones agrícolas para el consumo directo).

⁸ Limón, vinagre, bicarbonato, bórax, carbón o productos naturales del mercado como los Biogreen

Este diseño es compatible con un servicio de recolección comunitario o municipal para su tratamiento a mayor escala.

Autores

Zoraida Bellagio es estudiante, fue parte del Proyecto Interdisciplinario de Extensión: 'Energías Alternativas en Piedra Blanca' el cual finalizó en el 2014. Estudió diseño gráfico y es editora de la revista de difusión artístico cultural 'Ají pa' tu Salsa'. Realiza una adscripción en la Cátedra 'Introducción al Diseño Industrial B' de la carrera Diseño Industrial. Cursa actualmente Trabajo Final de la carrera Diseño Industrial de la Universidad Nacional de Córdoba.

Rafael Cervera ingresó a la carrera de Diseño Industrial de la Universidad Nacional de Córdoba. Actualmente trabaja como diseñador freelance y su vocación por la docencia lo ha llevado a participar activamente de las Cátedras de 'Introducción al Diseño Industrial B' y 'Diseño Industrial 3B'. Sus pasiones son la náutica y la música.

Luciano Souza es estudiante de Diseño Industrial en la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba. Lleva a cabo su proyecto final (tesis) bajo el programa de tutoría del INTI con el área de tecnologías sustentable. Desde marzo del 2014 trabaja para la Agencia Córdoba Cultura desempeñándose como diseñador gráfico en el área Prensa del Teatro Real. Desde el 2015 colabora como adscripto a la cátedra de 'Diseño Industrial 1A' de la carrera Diseño Industrial de la Universidad Nacional de Córdoba.

14. Integración de Energías Renovables

Las barreras que limitan la generación energética residencial en la estructura urbana actual Argentina

Néstor Alejandro Mesa¹

Resumen

En la actualidad las ciudades del país, no son energéticamente eficientes y requieren de más del 75% de la energía consumida. Si se pretende producir entornos urbanos más sostenibles, es necesario accionar sobre este fenómeno. Dentro de esta tendencia, los gobiernos de la Unión Europea han implementando programas para promover la eficiencia energética edilicia y la generación de energía proveniente de recursos renovables. Un ejemplo de esto es la directiva europea de edificios de consumo energético casi-nulo, que establece para los edificios, un alto rendimiento energético y que la energía que demanden, provenga de fuentes de energía renovable. En Argentina una alternativa similar sería casi imposible de ser implementada dadas las limitantes asociadas al marco normativo que regula la micro generación y morfología edilicia urbana.

El presente trabajo analiza y avalúa alternativas a las barreras que existen actualmente en la Argentina, que restringiría la potencial implementación de una normativa que propicie la generación energética, en la estructura urbana residencial.

Palabras clave: generación energética urbana, normas de planificación urbana, morfología urbana.

The barriers that limit residential energy generation in the current urban structure Argentina.

Abstract

Today the Argentine cities, they are not energy efficient and require more than 75% of the total energy consumed. If you intend to produce more sustainable urban environments, it is necessary to operate on this phenomenon. Within this trend, the EU governments have implemented programs to promote energy efficiency building industry and energy generation from renewable resources. An example of this is the Directive Buildings Near-zero energy, which provides for buildings, high energy efficiency and energy demand, coming from renewable energy sources. In Argentina a similar alternative would be almost impossible to be implemented given the constraints associated with the regulatory framework for micro generation building industry and urban morphology.

Instituto de Ambiente Hábitat y Energía INAHE, CCT Conicet Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n, Pque. Gral. San Martín, CP 5501, Mendoza, Argentina. Tel: +54-261-524-4310. E-mail: amesa@mendoza-conicet.gob.ar.

This paper analyzes and evaluates alternatives to the barriers that currently exist in Argentina, which restrict the potential implementation of a policy that favors energy generation in the residential urban structure.

Keywords: urban energy generation, urban planning policy, urban morphology.

Introducción

El proceso de urbanización que tuvo inicio en la década de 1990, convirtió a América Latina en la región del mundo que posee el mayor porcentaje de población urbana: más del 75% de la población vive en ciudades (CEPAL, 2004). En el país este porcentaje es aún mayor y llega al 90% (INDEC, 2010). Estos valores hacen evidente el peso de las ciudades en el sistema económico nacional y la necesidad de planificación y gestión urbana, con el objetivo de no sólo mejorar la calidad de vida de sus habitantes, sino de evitar la degradación ambiental que ellas producen.

Ante esto, la alternativa no es combatir su inevitable crecimiento, sino mejorar las condiciones en que éste tiene lugar, replanteando las pautas de desarrollo para contener la expansión urbana dentro de lineamientos que permitan en un plazo lógico, alcanzar rangos aceptables de sustentabilidad en aspectos que inciden directamente sobre el medio ambiente, tales como el uso irracional del agua y la energía, el sellado de suelo, la contaminación del aire.

Un aspecto que adquiere una importancia creciente dentro de esta línea de acción, es el análisis de la eficiencia energética del sistema urbano. En la actualidad se quema en las mismas el 90% del total de combustibles fósiles en la combustión de los vehículos por un lado y en el ámbito residencial, en forma directa para la calefacción de los espacios, el calentamiento del agua y la cocción de alimentos, y en forma indirecta, en las centrales térmicas para la generación de la energía eléctrica que se consume en los edificios.

El sector residencial requiere del 27.8% del total de la energía que se consume en el país sólo superada por el transporte, con una eficiencia del sistema edilicio (energía útil/energía neta) del 55% (figura 1 a y b).

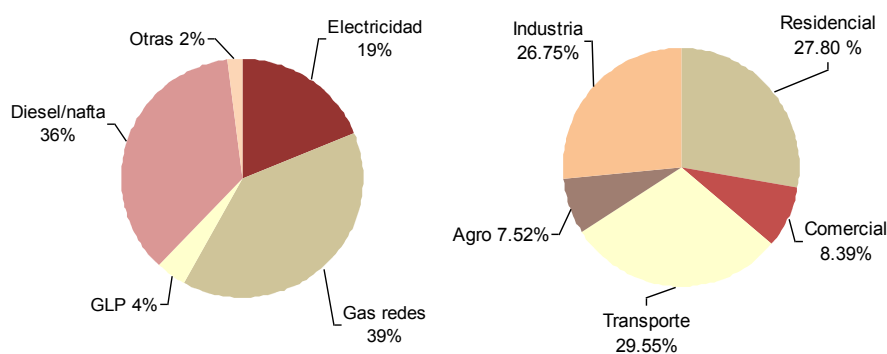


Figura 1a: Oferta interna de energía secundaria por forma de energía. **Figura 1b:** Consumo final de energía secundaria por sector económico (fuente: Secretaría de Energía de la Nación, año 2015)

Esto significa que casi la mitad de la energía se pierde, dando muestras concretas de la importancia del aporte del sector, a la contaminación de aire de la ciudad (emisiones de gases de efecto invernadero) y al cambio climático a escala regional y global. Si bien se tienen valores sobre los impactos ambientales directos del consumo residencial de energía, hasta el momento hay muy pocas

acciones gubernamentales que apuntan a revertir esta tendencia (Secretaría de Energía de la Nación, 2015).

La adecuación de los sistemas de producción, transporte y consumo, la conservación, sumada a la sustitución de energéticos fósiles a través de la generación por fuentes renovables, son las líneas sobre la cual se deben centrar las acciones, para cambiar esta tendencia.

La eficiencia del sistema edilicio urbano

Se puede establecer que un edificio es energéticamente eficiente, cuando puede reducir al mínimo su dependencia al uso de energía, disminuyendo las pérdidas del sistema, optimizando el funcionamiento de los equipos o en el caso de la climatización, por medio del control del intercambio térmico que se produce a través de la envolvente con el exterior. Protegiéndose de las condiciones adversas y optimizando el aprovechamiento de los recursos positivos del clima local, tratando así de resolver los requerimientos de los espacios interiores edilicios, por medios naturales. Si con la combinación de diseño y tecnología apropiada, no se logra alcanzar las condiciones de confort interior dentro de los valores aceptables, aun queda la alternativa del aprovechamiento de las energías renovables.

Ante esto los organismos de gestión establecen programas de incentivo y normas técnicas para mejorar el desempeño energético del sector edilicio urbano, intentando así reducir el consumo energético a través de mejorar la eficiencia. La Secretaría de Energía de la Nación, en el año 2005 implementó el Programa de Uso Racional de la Energía (PURE) y posteriormente el Programa de Uso Racional de la Energía Eléctrica (PUREE), que establece un sistema de bonificaciones para quienes ahorren, y cargos adicionales para quienes se excedan en el consumo de electricidad. En el año 2007 inicia el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía que plantea dentro de sus objetivos, la implementación de políticas, destinadas a promover la eficiencia energética entre los consumidores, apoyando la ejecución de proyectos de eficiencia energética por parte de las empresas distribuidoras de energía eléctrica interesadas en cofinanciar las actividades dentro de los siguientes proyectos: alumbrado público en municipios, uso racional y eficiente de la energía en edificios públicos, diagnósticos energéticos en industrias, etiquetado de eficiencia energética de electrodomésticos y la eficiencia energética en riego agrícola.

La meta a alcanzar por las distintas líneas de acción propuestas, es un descenso del 16% del consumo total de energía eléctrica para el año 2020, teniendo en cuenta la tendencia de crecimiento, lo que significa una reducción de 20.000 GWh en la demanda de energía eléctrica para cubrir los requerimientos. Un 15% de ahorro del sector industrial, es el equivalente a la energía que produce una planta de 750 MWh de capacidad instalada, como por ejemplo la central de Atucha II con un monto de inversión inicial de 3 mil millones de dólares (Asociación de Eficiencia Energética Argentina). La implementación del programa de optimización del alumbrado público, cambiando las existentes por lámparas de sodio de alta presión produciría un ahorro en el consumo de energía eléctrica del 43% y dentro del sector industrial, a través de su potencial de cogeneración, se pueden alcanzar valores reales de ahorros cercanos al 25% (Rabinovich G., 2013; Fundación Vida Silvestre Argentina, 2006) (Figura 2).

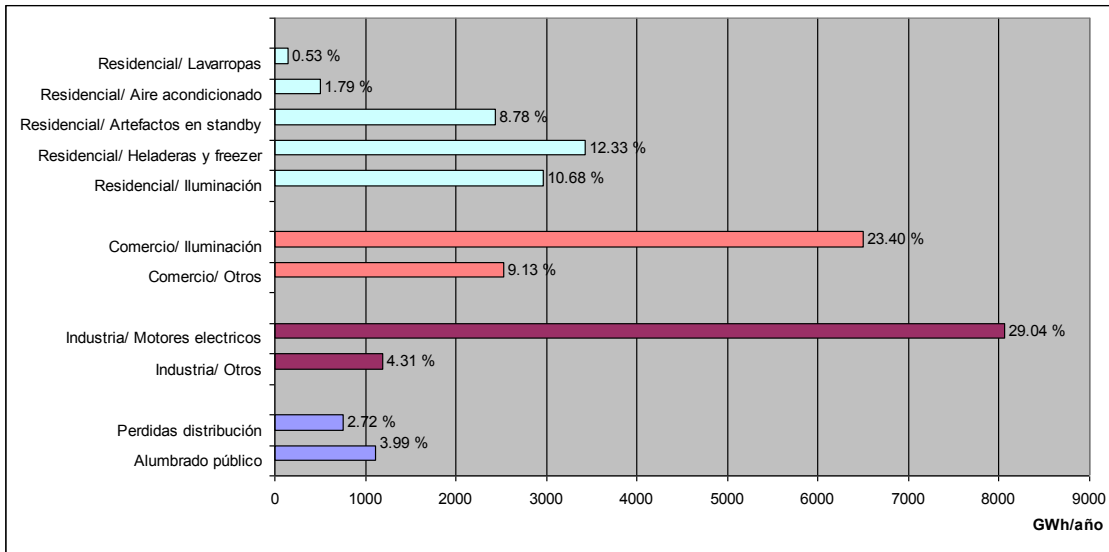


Figura 2: Ahorro de energía potencial por uso final y sector (fuente: Fundación Vida Silvestre Argentina, 2006)

Ya se cuentan con resultados concretos de la implementación de los programas de Uso Eficiente de la Energía (UEE). Los resultados de algunos de los programas volcados a números indican que en el período 2004-2005 en el Programa PURE, se obtuvieron ahorros superiores a los 350 KTEP en todo el país, involucrando a un total de 3.966.000 usuarios (62% del total). En el Programa PEREE, las cifras llegan a valores de 18 KTEP en el período analizado, involucrando a 11.603.229 usuarios (45% del total).

Estudios realizados por el IPCC determinan que el sector edificio residencial es el que posee de mayor potencial de ahorro energético, ante la implementación de un programa de uso racional de la energía (IPCC, 2007). A pesar de esto, no existen requerimientos nacionales de cumplimiento obligatorio, que certifiquen la eficiencia energética de la envolvente edilicia. Sólo se encuentran vigentes la Ley 13.059 de la provincia de Buenos Aires, el Decreto 8.757 de la Municipalidad de Rosario y la Ley 4458 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires que determinan las condiciones mínimas exigibles en la construcción de edificios, en base a lo establecido por las normas IRAM que normalizan los requerimientos de acondicionamiento térmico para cada una de las zonas climática del país.

El aporte potencial de las energías renovables

En el año 2011 la balanza comercial energética fue deficitaria, alcanzando valores superiores a los 2.800 millones de u\$s. Sumado a esto la tendencia de la evolución del consumo desde esa fecha, se debe incrementar la capacidad de generación por encima del 5% en los próximos años para poder cubrir la demanda (Rabinovich G. 2013).

Una respuesta viable a esta necesidad lo brindan las energías renovables, dado que los proyectos se pueden instalar en un corto plazo de tiempo y ampliar en forma modular, una importante ventaja, teniendo en cuenta los plazos que requieren los proyectos de generación convencionales del tipo térmico o hidroeléctrico.

Con la sanción de la ley nacional 27.191 (actualización de la 26.190) se pretende llegar para el año 2017, al 8% (energía eléctrica generada) de participación de las energías renovables (ER) en la matriz

energética del país. Pero hay una realidad que determina que para cumplir con este objetivo, se debe aumentar la generación de ER diez veces en referencia a los valores actuales, ya que analizando la tendencia de consumo, la demanda de energía eléctrica en el año 2017 será cercana a los 150.000 GWh, lo que significa 12.000 GWh de energía producida a través de fuentes renovables. A través de los contratos de abastecimiento de energía proveniente de fuentes renovables (resolución 712/2009), ENARSA propone incorporar 900 MW de potencia, con una proyección considerando sólo los proyectos eólicos que en su mayoría ya cuentan con las aprobaciones correspondientes, de una potencia superior a los 2.500 MW factible de ser puesta en operación comercial, en un plazo menor a los 5 años (Rabinovich G. 2013). Más allá de estos valores, se plantean incorporar otros 3100 MG generados por ER a través de instalaciones menores a 300 kW. Dentro de ese cupo se encontrarían todas las instalaciones comprendidas dentro del proyecto de Ley de Fomento a la Micro generación e Inyección de Energías Renovables al Mercado Eléctrico, presentado en las cámaras en el mes de octubre de 2015 (figura 3).

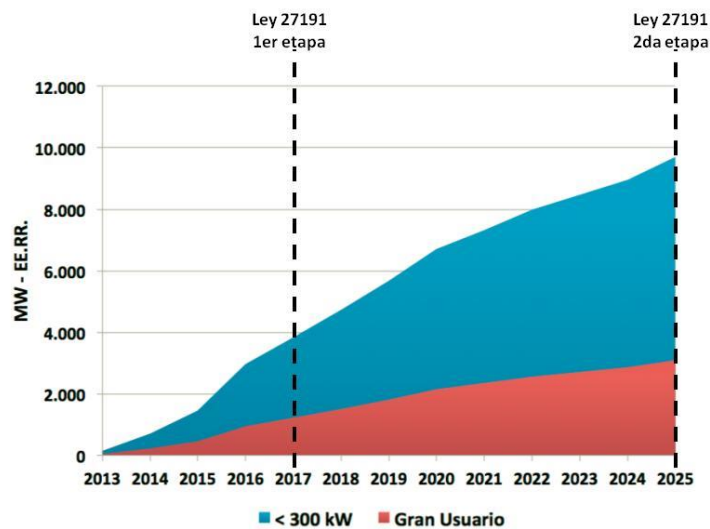


Figura 3: Potencia renovable según grupo de usuarios (Fuente Guinle Marcelo, 2015)

La potencialidad de este tipo de sistemas de generación de pequeña escala es muy grande, teniendo en cuenta la tendencia de crecimiento de los últimos 10 años, la capacidad mundial de instalaciones de Generación Distribuida (GD) en edificios urbanos pasará de los 100 GW instalados en el año 2014 a casi 1.800 GW en el año 2040 (Bloomberg New Energy Finance, 2015). Esto se debe a la reducción de los costos iniciales de los sistemas en relación a la energía solar generada, y además a los instrumentos financieros de fomento. La estructura de inversión necesaria en los sistemas de generación eléctrica a través de las energías renovables (inversión inicial, costos de operación y mantenimiento), tiene un comportamiento económico previsible, lo que facilita la realización de contratos a largo plazo, a diferencia de la generación en base a combustibles fósiles, dependiente de la fluctuación del valor del petróleo.

Teniendo en cuenta los costos de generación suministrados por CAMMESA referidos a los requerimientos de combustible para generar un MWh en una máquina térmica con gasoil dentro del sistema eléctrico argentino, se obtienen valores promedios de 0.25 m³ de combustible por MWh de electricidad producida. Teniendo en cuenta que en el año 2012, se generaron 4.691.345 MWh con 1.155.325 m³ de Gasoil importado y considerando sólo el precio del combustible en ese mismo año, sin tener en cuenta los costos referidos a impuestos y gastos de transporte interno, de operación y

mantenimiento, ni las remuneraciones del capital invertido en las unidades de generación, resulta un costo promedio de la energía generada con gasoil de 207 dólares por MWh.

Haciendo un análisis comparativo asumiendo reemplazar un porcentaje de la generación con gasoil importado, la generación de origen renovable en el año 2012 (1.700 GWh), significó un ahorro de 350 millones de dólares, producto de evitar el consumo de más de 420.000 m³ de combustible. Dentro de ese total, la energía eólica aportó 350 GWh a un costo total de 45 millones de pesos, el 50% del costo total de generación con Gasoil que habría sido necesario para aportar la misma cantidad de energía eléctrica a la red, considerando además del precio del combustible los costos de operación y mantenimiento, y la remuneración del capital invertido (CAMMESA, 2015). Otro aspecto fundamental a tener en cuenta es que está demostrado que Argentina cuenta con el potencial necesario (recursos naturales y humanos, y la capacidad técnica e industrial) para desarrollar la industria de fabricación de sistemas y componentes de generación de energías renovables. Para que esto sea posible se requiere de un marco normativo e instrumentos de financiamiento que aseguren y justifiquen las inversiones necesarias a largo plazo.

Ante la necesidad nacional cada vez mayor, la GD de energía eléctrica a través de fuentes renovables, es una alternativa no explotada que permite ajustar la generación a las necesidades particulares de cada caso, aliviando a las centrales de generación centralizada y las pérdidas adicionales de conducción y distribución de la energía eléctrica.

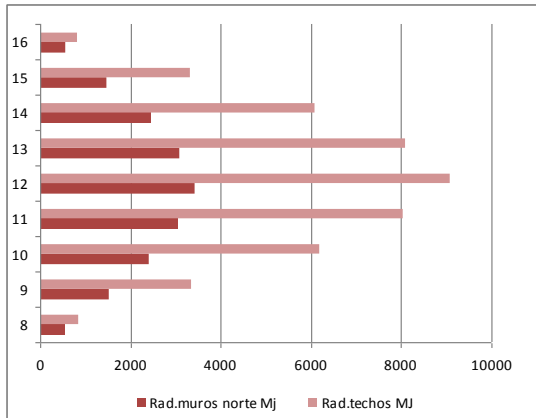
La factibilidad técnica de la generación energética distribuida en entornos urbanos consolidados

Más allá de las limitantes normativas y económicas existentes, el aprovechamiento de la energía solar en el medio urbano ya es un hecho concreto en el país. La alternativa más común es la captación a través de placas colectoras para calentamiento de agua localizadas en los espacios libres en las cubiertas de los edificios. De esta manera no es necesario analizar la integración del sistema de generación al proyecto arquitectónico, requiriendo sólo de la superficie libre y la estructura de soporte. La otra opción sería considerar la inserción del sistema desde el planteo inicial del proyecto, convirtiendo al módulo solar en un elemento constructivo del edificio, en sustitución de alguno de los materiales tradicionales de fachada o techo.

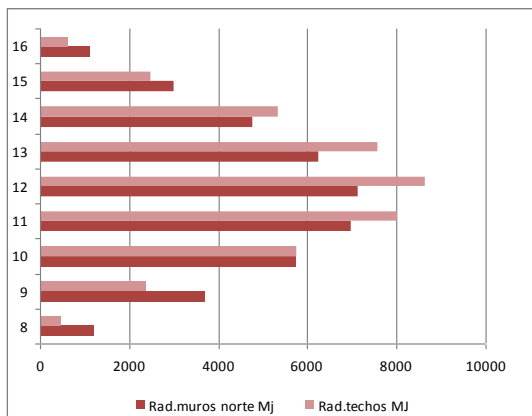
Pero aunque estén cuantificados los beneficios económicos y ambientales resultado de la aplicación masiva de estas tecnologías, no se cuenta en la actualidad con una herramienta legal de protección expresa. La aplicación del programa de aprovechamiento de la energía solar térmica, en el Ayuntamiento de la ciudad de Barcelona, evitó la emisión a la atmósfera de 4.368 toneladas equivalentes de dióxido de carbono en el periodo 2000/2005, producto de la colocación de más de 31.000 m² de superficie de captación solar, generando además un ahorro energético de 24.840 MWh/año (Agencia de Energía de Barcelona, 2006).

Las únicas normas de cumplimiento obligatorio que inciden sobre la disponibilidad recurso solar en espacios construidos, son los Códigos de Planeamiento Urbano y de Edificación de cada ciudad. Estos regulan las variables referidas a las características morfológicas edilicias, no contemplando preservar la disponibilidad del recurso solar que siempre está condicionada por las características de los recintos, la densidad edilicia, la separación existente entre los volúmenes construidos, la altura de las edificaciones, así como las obstrucciones producidas por la presencia de los distintos componentes del paisaje urbano (arbolado público, cartelería, antenas).

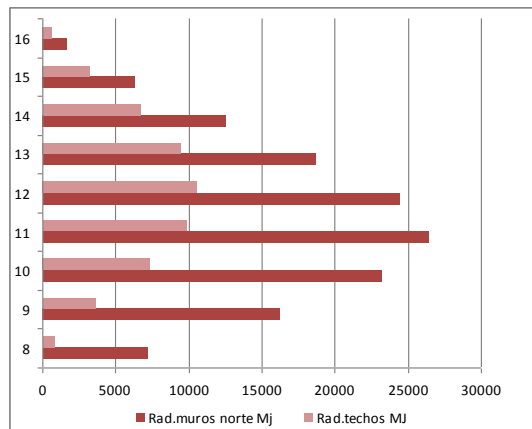
Para poder cuantificar la potencialidad energética solar en una región urbana consolidada y tomando la base de las densidades edilicias actuales, se analizó la volumetría de tres áreas urbanas consolidadas correspondientes al Área Metropolitana de Mendoza. A través del uso de un modelo de cálculo, se determinó la disponibilidad de las áreas de fachadas (techos y orientación norte) potencialmente colectoras, para un día del período de menor disponibilidad solar (21 de junio). Los valores obtenidos de la radiación horaria incidente en los techos y fachadas norte asoleadas sin obstrucciones, permitieron caracterizar cada tipología edilicia (figura 4).



a. Manzana baja densidad inserta en la trama urbana



b. Manzana alta densidad inserta en la trama urbana



c. Manzana alta densidad edificios planta libre fuera de la trama urbana

Figura 4: Energía horaria incidente sobre techos y fachadas con orientación norte para el día 21 de junio

Evaluar la disminución de las superficies colectoras asociadas a la heterogeneidad morfológica y las obstrucciones próximas es fundamental a la hora de poder planificar un programa de micro

generación energética urbana dado que, si bien en el caso de construcciones de baja densidad, son mínimas, y es donde el diseño particular de la edificación es el factor más importante, en el caso de las construcciones en áreas urbanas consolidadas de alta densidad, con sólo un buen diseño no se puede asegurar la disponibilidad del recurso.

Teniendo en cuenta las características morfológicas de las unidades urbanas evaluadas, los valores obtenidos de la disponibilidad de la energía solar en las manzanas localizadas dentro de la trama consolidada es relativa, dado que los muros norte y los techos que no hayan alcanzado la altura máxima permitida, pueden sufrir obstrucciones producidas por los edificios próximos, producto de nuevos proyectos o cambios en las reglamentaciones existentes.

Pero para que el uso generalizado sea factible, en el caso de nuevas urbanizaciones es necesario considerar la incidencia del tamaño de las manzanas, los lotes o parcelas, las orientaciones de las calles y la altura de los edificios, sobre la disponibilidad de la radiación solar. Y en el caso de las urbanizaciones consolidadas, existen limitantes resultantes de la escasez de espacios disponibles libres de obstrucciones, para la ubicación de módulos captadores que ofrecen los edificios.

Esto depende esencialmente de las medidas establecidas por los organismos de gestión para cada zona, donde las obstrucciones pueden llegar a valores superiores al 50%, reduciendo en un porcentaje similar la potencialidad de implementar estrategias de aprovechamiento solar dentro de las ciudades (Mesa A. et al 2010 a y b).

La inserción de la generación distribuida en la estructura actual de los sistemas de generación

La estructura base de un Sistema Centralizado de producción eléctrica como el argentino, está conformada por las grandes centrales de generación, y una red de la transmisión y distribución. Todas las centrales están interconectadas y se activan en función de sus posibilidades, la demanda y el costo de generación. En un comienzo, la generación se realizaba cerca del sitio de consumo, y la población crecía a su alrededor de ahí el término “centralizado”, pero el aumento de la demanda, (crecimiento demográfico y al desarrollo industrial), y el cambio en la transmisión (se paso de la limitante de corriente continua a corriente alterna), permitió trasladar las centrales al lugar cercano a la fuente del insumo (combustible o agua) alejándolas de las ciudades. Esta configuración genera un alto porcentaje de pérdidas, entre lo que se genera y lo que llega a los usuarios, asociado al transporte, a la conversión a corriente alterna, y a los transformadores de potencia (de máxima a media y baja), para ajustar la tensión a los requerimientos domiciliarios. En el año 2000 en Argentina del total de lo generado por el sector eléctrico (8275 miles de Tep), las pérdidas alcanzaron los 1134 miles de Tep (13.7%). De este total le correspondió el 25% a la transmisión (284 miles de Tep) y el 75% restante a la distribución (850 miles de Tep) (Cabezas et al, 2008).

Al considerar la localización de una central térmica o hidráulica, el desarrollo territorial de la estructura del sistema actual es lógico, pero deja de serlo al analizar el caso particular de la tecnología fotovoltaica. Las instalaciones de generación solar, hasta hace no mucho tiempo se localizaban fuera de las áreas de consumo, en las llamadas huertas solares de generación centralizada. Pero dado que la energía fotovoltaica es modular, alcanza la misma eficiencia en relación a los costos de generación por Watt producido una planta de 10 KW que una de 150 MW, no se justifica entonces considerar gastos asociados al valor del terreno en el cual se localice la planta o

la infraestructura de la red de distribución, en el caso de una “huerta fotovoltaica” de gran escala, sumado esto, a las pérdidas de la red de distribución (Deodhar, 2015). Los sistemas de energía fotovoltaica son ideales para la generación distribuida de electricidad, localizada próxima al sitio de consumo y son muchas las ventajas que se consiguen al integrar las fuentes de generación a la estructura urbana. La fundamental es que, dependiendo la escala, se ayuda a cubrir las necesidades de consumo de los edificios reduciendo los picos de demanda a la red eléctrica en determinadas horas, aprovechando superficies existentes no utilizadas

El cambio de la legislación internacional, ha permitido que la GD urbana sea una alternativa, no sólo a la matriz energética de muchos países, sino como aporte a la economía del consumidor, redistribuyendo en toda la sociedad, los ingresos de la energía. Al respecto Valencia Quintero plantea la hipótesis de que “...la oportunidad de que los consumidores se vuelvan productores, provocará un cambio en el sistema social. La toma de decisión se trasladará a grupos sociales más amplios convirtiendo todo el proceso de la producción de energía, en más transparente y democrático. La repercusión de este cambio será un sistema eléctrico en que las inquietudes culturales, ambientales o económicas de los diferentes grupos sociales se tomarán en cuenta, convergiendo a las soluciones más adecuadas y ampliamente aceptadas...” (Valencia Quintero, 2008). La utilización generalizada de sistemas de generación distribuida de energía renovable va a permitir la “democratización” de los recursos energéticos, independizando al usuario de las variables geopolíticas de manejan el precio internacional de los combustibles fósiles y de las empresas que los controlan. Para que esto pueda desarrollarse, analizando el grado de competitividad de la GD fotovoltaica en el país, se requiere de un marco normativo claro y de incentivos económicos para la etapa de la inversión inicial del proyecto.

La Generación Distribuida está regulada por distintos instrumentos normativos, pero un aspecto fundamental para que el sistema sea económicamente viable, es el hecho de que el micro generador pueda estar conectado a la red y en caso de disponerlo, volcar el excedente de energía generada. Se utiliza la red eléctrica como “unidad de respaldo” con la que se intercambia energía según la producción y el consumo, esto disminuye notablemente el costo inicial de inversión necesaria, ya que no se requiere de los elementos de almacenamiento y de regulación.

Son tres los mecanismos internacionales más utilizados, que regulan la facturación de la energía producida por el sistema de GD: el Feed-in tariff, el balance neto y la facturación neta. El Feed-in tariff es un instrumento normativo de fomento para impulsar el desarrollo de las energía renovables (ER), mediante el establecimiento de un incremento en el precio pagado al cliente por cada unidad de energía eléctrica inyectada a la red. Esto ha favorecido la evolución del sector y el aumento de la participación de estas tecnologías en la matriz energética de países como Alemania, Dinamarca o España. Si bien la estructura varía en cada caso, esencialmente se sostiene sobre los siguientes principios. El ente regulador establece un valor mínimo por unidad de energía inyectada que podrá variar según sea, el tamaño de la instalación y el tipo de energía renovable utilizada. Se establece además la obligatoriedad del acceso a la red y la compra de toda la energía generada e inyectada por el sistema de GD.

Entendiendo al Feed-in tariff como un instrumento de fomento, la diferenciación de las tarifas está fundamentada en promover aquellas tecnologías que presenten mayor dificultad de competencia con las energías convencionales. Un ejemplo de esto es la tecnología de GD fotovoltaica, que ya es

producida en masa por la industria lo que significó que su costo haya disminuido notablemente en las últimas décadas, mejorando a la vez su eficiencia. Un panel fotovoltaico que en el año 2008 se pagaba 2€/Wp, en 2013 su precio se había reducido a menos de 0.6€/Wp (figura 5). Con la evolución de cada tecnología, la tarifa de fomento ha ido disminuyendo en forma progresiva, siguiendo la evolución del mercado.

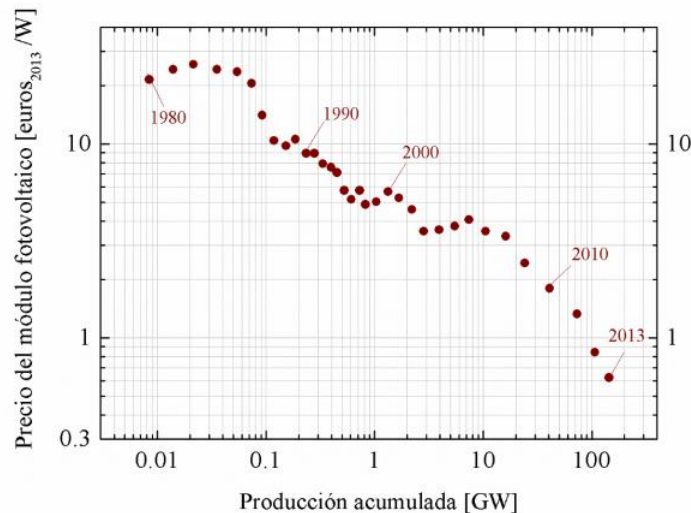


Figura 5: Precio del panel fotovoltaico de placa plana (en euros por vatio pico) en función de la producción acumulada (Fuente: Victoria et al, 2014).

En el sistema de facturación por balance neto, la conexión es similar al caso anterior, solo que no es un instrumento de fomento ya que es una relación 1 a 1 entre la tarifa de cada unidad de energía generada por ER inyectada a la red y la energía que el usuario consume de la red, al valor del período correspondiente del día.

Por último, en la facturación neta, al valor de la energía consumida del sistema centralizado, se le suma un canon por el uso de la red de distribución sobre la energía inyectada. Este valor puede estar estipulado según cada caso, en base al volumen de energía o ser un canon fijo. La justificación de este valor está dada en la necesidad de hacer frente (por parte de las grandes empresas generadoras), de los costos del mantenimiento de la red y por mantener las grandes centrales en funcionamiento, para así garantizar el suministro en los periodos del día donde la GD no puede cubrir la demanda.

Comentarios finales

La generación distribuida es una alternativa viable para ampliar la matriz de generación energética nacional, por medio de la promoción de las energías renovables, otorgando beneficios tanto a las empresas como a los usuarios de las mismas. Los usuarios, se transforman en generadores, no solo ahorrando, sino según la escala del sistema, aumentando su ingreso. Las empresas con el aporte de la GD, evitan inversiones en generación, en ampliación y mantenimiento de la red de distribución.

Son muchas las barreras que inciden y dificultan la implantación de la GD de energías renovables dentro de la estructura urbana. Algunas de las mismas atentan contra la disponibilidad del recurso y están dentro de la incumbencia de los gobiernos municipales, las otras inciden sobre las viabilidad económica y técnica de los sistemas, y son gestionadas por los organismos centrales.

Un paso fundamental para que el uso de la GD sea generalizado, es poder establecer instrumentos legales y económicos, que tengan como objetivo, favorecer el aprovechamiento de la energía solar térmica y fotovoltaica en las ciudades. Ha ingresado a la Cámara de Diputados de la Nación, un proyecto de ley que regula la generación distribuida en el ámbito nacional, y ya existen en el país, tres provincias que han reglamentado por ley la inyección de energía eléctrica a la red, sin establecer hasta ahora, un mecanismo de incentivo para el inversor, apuntando a la facturación por el método de balance neto.

La implementación un programa de acción conjunta entre todos los organismos que intervienen, es la única salida para que la generación energética residencial en la estructura urbana actual Argentina, sea un hecho concreto.

Bibliografía

- Agencia de Energía de Barcelona, 2006. Ordenanza solar térmica de Barcelona. Valoración y balance de su aplicación. European Project K4RES-H, Comisión Europea.
- Bloomberg New Energy Finance (BNEF) 2015. *New Energy Outlook 2015 (NEO) Long-term projections of the global energy sector*. En www.bloomberg.com/company/new-energy-outlook.
- Cabezas Sergio, Laria Patricia, 2008. *Consumo energético residencial argentino y efecto invernadero. Aporte de la cuenca del Comahue*. 3as Jornadas de Historia de la Patagonia, San Carlos de Bariloche.
- CAMMESA, Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima, 2015. *Precios de referencia de combustibles*. En <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>.
- CEPAL, División de desarrollo social y la división de estadística y proyecciones económicas, Naciones Unidas, 2004. *El Panorama social de América Latina* Copyright Naciones Unidas. Primera edición. ISSN impreso 1020-5152 / ISSN electrónico 1684-1409/ ISBN 92-1-322302-1.
- Deodhar P. S., 2015. Design Features Multi-Megawatt Size PV Solar Plants Are More A Problem Than A Solution, en <http://www.powerpulse.net/techPaper.php?paperID=176&page=1>.
- Fundación Vida Silvestre Argentina, 2006. *Reducir emisiones ahorrando energía: escenarios energéticos para la Argentina (2006-2020) con políticas de eficiencia*, ISBN-10: 950-9427-15-2, ISBN-13: 978-950-9427-15-0, Buenos Aires.
- Guinle Marcelo, 2015, Proyecto de ley *Modificaciones a la Ley n° 26.190 Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica*. Cámara de diputados de la Nación Argentina.
- INDEC Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010. Análisis de datos, resultados definitivos. Rep. Argentina.
- IPCC, Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático 2007. *Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático*. Documento técnico III.
- Mesa Alejandro; Arboit Mariela; de Rosa Carlos. 2010. *Solar obstruction assessment model for densely forested urban environments*, Architectural Science Review, Ed. Earthscan, Vol.53, p. 224-237. ISSN: 0003-8628. Sydney Australia.

Mesa Alejandro, Arboit Mariela, de Rosa Carlos, Morillón Gálvez David, Hernández Gómez Víctor, 2010. *Métodos para la evaluación del potencial y aprovechamiento pasivo de la energía solar entornos urbanos caso de estudio: área metropolitana de Mendoza, Argentina*, en el libro Ingeniería De La Energía Solar IV. Serie Investigación y desarrollo. ISBN 970-32-0196-2, p. 75-108, Editorial del Instituto de Ingeniería de la UNAM. México, D.F.

Rabinovich Gerardo, 2013. Rápida evaluación y análisis de los objetivos del proyecto energía sustentable para todos en el sector energético de la Republica Argentina. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y Banco Interamericano de Desarrollo.

Secretaría de Energía de la Nación, 2015. Balance energético de la Republica Argentina año 2014.

Valencia Quintero James Paul, 2008. *Generación distribuida: democratización de la energía eléctrica*, Criterio Libre N° 8, Bogotá (Colombia), Pp. 105-112, ISSN 1900-0642.

Victoria Marta, Moretón Rodrigo, 2014 Siete gráficos para ponerse al día en fotovoltaica en: <http://www.lamarea.com/2014/12/22/siete-graficos-para-ponerse-al-dia-en-fotovoltaica> visto marzo 2015.

Autor

Doctor en Arquitectura, Investigador del CONICET en el Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE), en el CCT Conicet Mendoza de Argentina. Profesor en carreras posgrado. Autor de numerosos trabajos e investigaciones relacionadas con el tema del desarrollo urbano.

Dificultades de la integración de las energías alternativas a la arquitectura.

*Silvina Angiolini^{1.3}, Lisardo Jerez^{1.2}, Ana Pacharoni^{1.2}, Pablo Avalos^{1.2},
Mariana Gatani^{1.2.4}, Daniela Bracco⁵*

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo profundizar el estudio de energías alternativas y sus posibilidades de aplicación en el diseño de viviendas en la Ciudad de Córdoba. Para ello se desarrolla el estudio a partir de encuestas a Usuarios que disponen de colectores solares en viviendas ubicadas en zonas periurbanas a la misma, se realiza el análisis de las tecnologías disponibles en el mercado, se evalúa la eficiencia en diferentes orientaciones y se comparan las tarifas actuales de las energías convencionales frente a la inversión para la incorporación de paneles solares. Los resultados revelan que la tecnología disponible en el mercado local es limitada, los diseñadores encuentran algunas dificultades en la incorporación de estos nuevos elementos al proceso de diseño y se genera un cambio de hábitos en los Usuarios. El uso de energías renovables para el calentamiento de agua en viviendas tiene un costo amortizable en corto plazo y debe integrarse adecuadamente en el proceso de diseño a la arquitectura en razón del rendimiento favorable por las condiciones climáticas de la Ciudad de Córdoba.

Palabras clave: viviendas; paneles solares; ahorro energético.

¹Integrantes del Grupo de Investigación: "Tecnología Sustentable en Córdoba. Energía solar, fotovoltaica y colectores para agua; y su aplicación en arquitectura". 2014/2015 - SECyT – UNC – FAUD - Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 264, Córdoba, Tel.: 54-351-4332096, fax: interno 133 - www.faudi.unc.edu.ar

²Profesores Asistentes FAUD. UNC. - ³Profesora Adjunta FAUD. UNC. - ⁴Directora de Equipo. Investigadora CONICET.

⁵Arquitecta Colaboradora.

Difficulties for the integration of alternative architecture energy.

Abstract

This work aims to deepen the study of alternative energies and their potential applications in the design of housing in the city of Córdoba. This develops the study from surveys to users that they have solar collectors in homes located in peri-urban areas to it, is the analysis of the technologies available on the market, it evaluates efficiency in different orientations and compare the current rates for conventional energies over investment for the incorporation of solar panels. The results reveal that the technology available in the local market is limited, designers are some of the difficulties in the incorporation of these new elements to the design process and a change of habits is generated in users. The use of renewable energy for water heating in homes has a depreciable cost in the short term and must be properly integrated in the process of design because of the favorable performance by the climatic conditions of the city of Córdoba.

Keywords: housing; solar panels; energy saving.

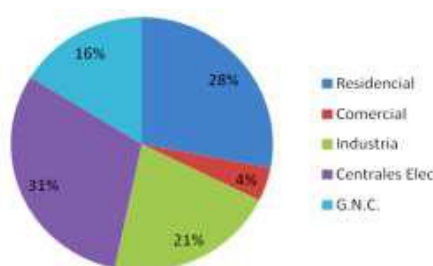
1. - Introducción

Ante el actual problema energético causado por el uso de fuentes no renovables, como es el caso del gas natural para el uso de calentamiento de agua en viviendas, se hace necesario buscar alternativas que posibiliten reducir su consumo mediante la utilización de energías renovables, ya que el uso de agua caliente constituye un consumo energético significativo en una vivienda teniendo en cuenta su utilización diaria en el lavado de vajilla, limpieza e higiene personal.

En los países en desarrollo este consumo constituye entre el 30% y 40% del consumo de energía de un hogar, este porcentaje es mayor que en los países desarrollados donde el consumo de energía para producir agua caliente sanitaria se supone del 26% del consumo total de la vivienda (Placco et al 2008).

En la Ciudad de Córdoba según datos de INDEC (2011) solo el 70% de los hogares cuentan con gas natural, la ciudad que se extiende con baja densidad (Gatani et al 2013) sólo llegan a los nuevos sectores residenciales redes de electricidad y agua potable. Del total de gas natural que se consume en Córdoba (Figura 1) se distribuye el 31% para generar electricidad, 28% para uso residencial, 21% para uso industrial y 16% en transporte. De lo que resulta que un tercio aproximadamente es para el funcionamiento de los edificios: para calefacción en período invernal, cocción de alimentos, agua caliente para uso sanitario. Otro tercio se utiliza en la producción de electricidad para generar energía con centrales térmicas.

Figura 1: Consumos de gas natural en la Provincia de Córdoba



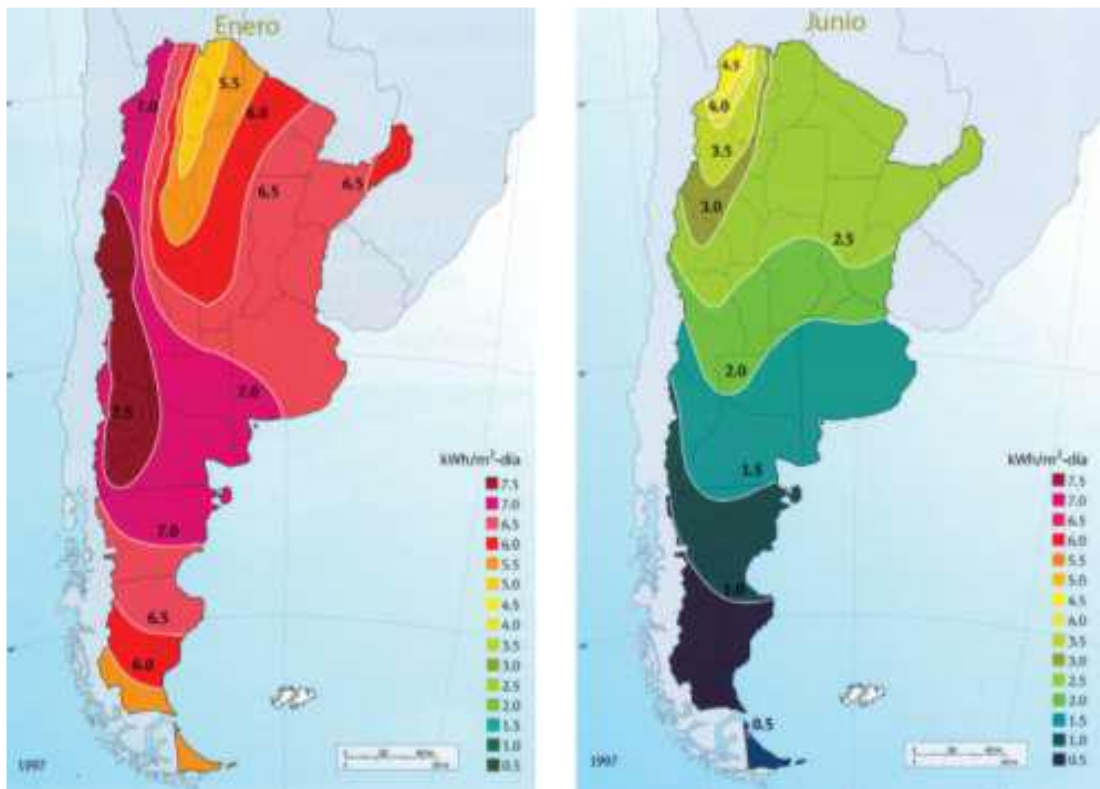
Fuente: Enargas 2013.

Existe ordenanza municipal nro. 12.302/14 en el ámbito de la Ciudad de Córdoba que regula la incorporación de energía solar para edificios y reparticiones públicas dependientes de la municipalidad de Córdoba que tiene como objetivo concientizar e incentivar a la población a adoptar en las viviendas sistemas de captación de energía solar para la producción de agua caliente sanitaria para consumo y calefacción con el propósito de reducir el consumo de energía.

En toda la extensión de la Argentina existe una variedad grande de climas, condiciones y situaciones ambientales que brindan distintos recursos naturales que se pueden disponer. La figura 2 presenta la distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria recibida en los diferentes meses del año en el país en la que se observa una importante variabilidad temporal y espacial de los promedios mensuales. Solamente una pequeña franja del noroeste del país (parte occidental de las provincias de Salta, Jujuy, Catamarca, La Rioja y San Juan) presenta irradiación alta que supera los 5 kWh/m²-día con posibilidades de aprovechamiento en proyectos de potencia.

Según los estudios de radiación solar en Argentina de Grossi Gallegos y Righini gran parte de la superficie del país, en la cual se encuentra incluida la provincia de Córdoba presenta irradiación solar global diaria que permite su aprovechamiento en proyectos de generación eléctrica de baja potencia y en calentamiento de agua.

Figura 2: Radiación solar en Argentina.



Fuente: H. Grossi Gallegos y R. Righini "Atlas de energía solar de la República Argentina" Universidad Nacional de Luján. Secretaría de Ciencia y Tecnología Buenos Aires, Argentina 2007.

2. - Objetivo

El trabajo tiene como objetivo profundizar el estudio de energías alternativas y sus posibilidades de aplicación en el diseño de viviendas en la Ciudad de Córdoba.

3. - Metodología

Se trabajó con el análisis de casos de estudio, viviendas unifamiliares ubicadas en zonas periurbanas a la Ciudad de Córdoba, sector noroeste de la trama urbana que carecen del servicio de gas natural y que utilizan la energía solar para el calentamiento del agua. La metodología empleada permitirá conocer las tecnologías actuales que se comercializan y su adaptabilidad en el plano y orientación más eficiente para la Ciudad de Córdoba. Las principales etapas metodológicas son:

- a) Relevamiento y análisis de tecnologías para el calentamiento de agua solar disponibles en el mercado local.
- b) Encuesta a Usuarios que disponen de colectores solares.
- c) Evaluación de datos de la Ciudad de Córdoba sobre energía solar disponible para el funcionamiento eficiente de los colectores: heliofanía relativa, heliofanía efectiva horas, tablas de radiación solar en planos verticales y plano horizontal (W/m²).
- d) Evaluación y comparación de la eficiencia del sistema de calentamiento de agua en distintas orientaciones y estaciones: verano e invierno. Para ello se analizan los valores de radiación solar horaria en planos horizontales, verticales e inclinados, y simulación mediante Programa Ecotec.
- e) Evaluación económica. Para ello se comparan las tarifas actuales de las energías convencionales frente a la inversión para la incorporación de paneles solares.

4.- Resultados

- a) Tecnologías disponibles en la Ciudad de Córdoba.

Actualmente el sistema más utilizado es el de colectores de tubos de vidrio al vacío de flujo directo de alta tecnología que absorben la radiación solar directa y difusa que se comercializan en forma integrada que incluye el colector y tanque de almacenamiento de agua caliente en una sola unidad (Figura 4). El sistema consiste en una matriz de tubos de vidrio de dos capas sellados entre los cuales se crea un semi-vacío. Cada tubo de vidrio se encuentra conformado por una doble pared de dos tubos de vidrio (Figura 3). El tubo exterior transparente de alta resistencia hecho de borosilicato capaz de resistir el impacto de granizo, y uno interior o tubo de absorción recubierto con una capa especialmente diseñada de color oscuro que se calienta con los rayos del sol que atraviesan el tubo externo transparente, absorbiendo la energía solar e inhibiendo la pérdida de calor radiante, calentando el agua a temperaturas que alcanzan los 120 grados.

El tubo exterior cubre al primero y sella al vacío el espacio entre ambos tubos con lo cual se elimina la pérdida de calor convectivo y conductivo, asegurando que parte de la radiación absorbida por el tubo interior se transfiera al agua que circula dentro de él y parte se transfiera radiactivamente al vidrio del tubo exterior. El equipo puede equiparse con una resistencia eléctrica y un controlador digital para calentar el agua automáticamente. También existe la posibilidad de vincular el equipo

solar con sistemas convencionales a un termotanque ya instalado para que actúe de reserva y asegurar la obtención de agua caliente a toda hora.

El tanque de almacenamiento de agua caliente se comercializa en distintas capacidades dependiendo de la cantidad de personas que habita la vivienda. Se calcula un consumo de 60 litros por persona.

Es una opción económica al no utilizar bombas y la circulación de agua se realiza por medio de la gravedad a través del colector por efecto termosifón. El sistema se presenta montado en una estructura metálica con un ángulo de inclinación a 45°.

Figura 3. Detalle tubo de vidrio.



Fuente: website <http://www.termosol.com.ar>

Figura 4. Vista de colector solar.



Fuente: website <http://www.termosol.com.ar>

Hay otro sistema llamado colector de vacío con tubo de calor (heat pipe) (figura 5) que tienen mayor eficiencia y son aptos para calefacción además de agua caliente. Son sistemas utilizados en aquellos lugares donde se requiere altos niveles de presión de agua ya que poseen un colector presurizado.

El principio de funcionamiento se basa en transportar vapor como fluido que no sale del interior del tubo, evaporándose al calentarse por efecto de la energía solar recibida, ascendiendo hasta el intercambiador ubicado en el extremo superior del tubo. Una vez allí, se enfría y vuelve a condensarse al encontrarse a una temperatura inferior, originando que el vapor se condense y retorne a su estado líquido transportándose a la parte inferior del tubo por efecto de la gravedad, lugar donde recibe radiación solar y vuelve a evaporarse repitiéndose el ciclo (Figura 6).

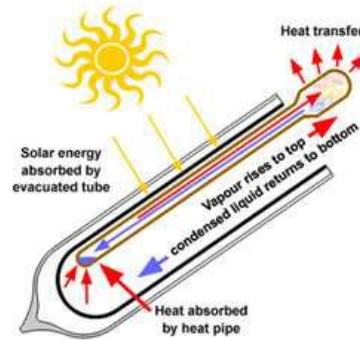
Este sistema tiene como ventaja que en el período estival de los climas cálidos una vez evaporado todo el fluido del tubo, éste absorbe mucho menos calor por lo que es más difícil que los tubos se deterioren; y pierden menos calor durante la noche, ya que la transferencia de calor, a diferencia de los tubos de vidrio al vacío de flujo directo, sólo se produce en una dirección.

Figura 5. Vista de colector solar.



Fuente: website [http:// www.esol.cl](http://www.esol.cl)

Figura 6. Detalle tubo de calor heat pipe.



Fuente: website: [http:// www.esol.cl](http://www.esol.cl)

b) Encuesta a Usuarios

En relación al grado de satisfacción de la tecnología disponible en el mercado local se realizó una entrevista a grupos familiares compuestos entre 3 a 5 personas. En la misma se formularon preguntas referidas a: cambio de hábitos en el uso de agua caliente, integración en el diseño de la vivienda, economía en el uso, mantenimiento para su funcionamiento, costos.

Los propietarios reconocen cambios de hábitos en el uso de agua caliente fundamentalmente en la época de invierno en horas del mediodía en las cuáles se alcanza la temperatura deseada. En época de verano como alcanza altas temperaturas por la intensa radiación solar sea hace necesario mezclar con agua fría.

En su gran mayoría las familias coinciden en que el colector solar no se encuentra integrado al diseño de la vivienda ya que en ninguno de los casos ha sido incorporado en la etapa de diseño sino que fue agregado a posteriori. Coinciden asimismo en haber efectuado una inversión inicial no significativa que se compensa en el menor uso del gas envasado.

En cuanto al aspecto económico los usuarios recomiendan su uso fundamentalmente por el ahorro que genera con respecto a otros artefactos que utilizan para el calentamiento del agua a gas envasado.

Los usuarios reconocen como ventaja la ausencia de mantenimiento en el funcionamiento del sistema y manifiestan tener que utilizar un sistema complementario para calentamiento extra necesario en época invernal en aquellos días con alta nubosidad utilizándose una resistencia alimentada mediante energía eléctrica.

Figura 7. Caso de estudio vivienda con uso de colector solar



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Figura 8. Caso de estudio vivienda con uso de colector solar.

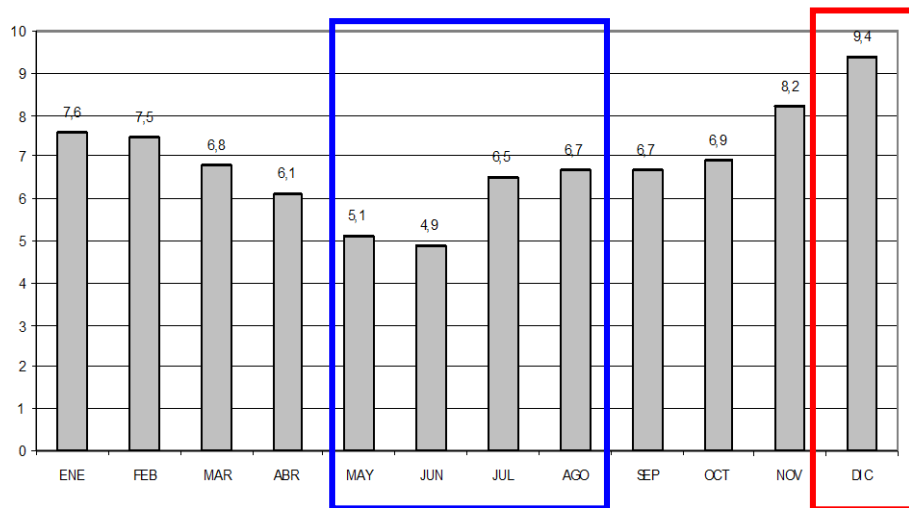


Fuente: Fotografía tomada por el autor.

c) Evaluación de datos disponibles para la Ciudad de Córdoba. (Latitud 31° 19''S-Longitud 64° 13'' O)

La figura 9 representa el número de horas reales de insolación diaria. Los resultados demuestran que en los meses de invierno (mayo, junio, julio y agosto) se cuenta con una heliofanía efectiva de entre 4,9 y 6,7 horas y en el mes de diciembre con mayor altura de sol se cuenta con una heliofanía efectiva de 9,4 horas.

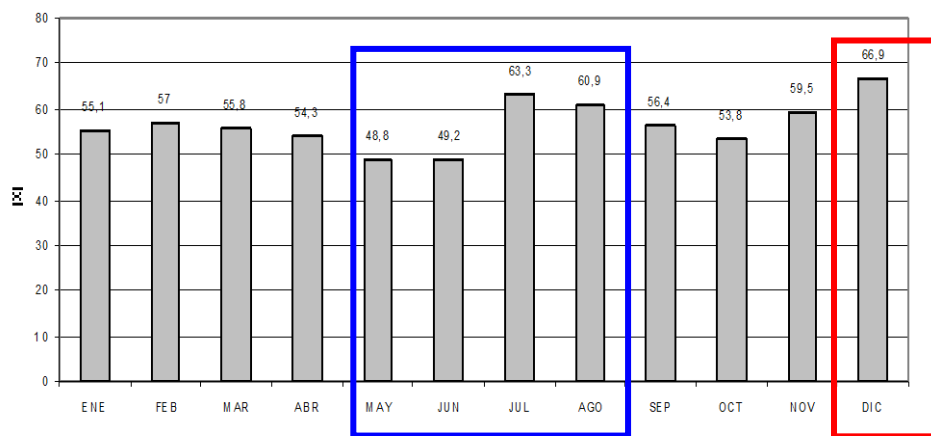
Figura 9. Heliofanía efectiva horas



Fuente: Gráfico obtenido CEEMA

“Heliofanía relativa: relación entre el número de horas reales de insolación (heliofanía) y el número máximo posible de insolación en cada fecha”. (Figura 10). Los resultados establecen, considerando los meses de temperaturas bajas que se cuenta con una heliofanía relativa alta en ellos, principalmente en julio con un 63,3 % y en agosto con 60,9 %, lo que facilita la ganancia energética para el calentamiento de agua. En los meses de temperaturas altas en diciembre, con intensa radiación solar, también se cuenta con una heliofanía relativa alta: 66,9 %.

Figura 10. Heliofanía relativa



Fuente: Gráfico obtenido CEEMA

Se evalúan datos de valores de radiación horaria en distintas orientaciones y planos (vertical y horizontal) según Tablas 1, 2 y 3. Los resultados demuestran que en verano el plano horizontal, de mayor incidencia de radiación solar recibe 32.000 MJ/m² día. Entre los planos verticales, en período invernal el que recibe mayor radiación solar es la orientación norte con un valor de 16.906 MJ/m² día y en período estival los planos con orientación este y oeste con un valor de 13.311 MJ/m² día.

Valores radiación horaria en distintas orientaciones (MJ/m² día)

Tabla 1. Pl. Vertical verano

| Hora | norte | sur | este | oeste |
|------|-------|-------|--------|--------|
| 5 | 15 | 42 | 32 | 4 |
| 6 | 24 | 165 | 393 | 10 |
| 7 | 33 | 198 | 650 | 18 |
| 8 | 45 | 152 | 767 | 27 |
| 9 | 56 | 56 | 695 | 40 |
| 10 | 130 | 42 | 551 | 50 |
| 11 | 180 | 33 | 330 | 62 |
| 12 | 201 | 30 | 70 | 70 |
| 13 | 180 | 33 | 62 | 330 |
| 14 | 130 | 42 | 50 | 551 |
| 15 | 56 | 56 | 40 | 695 |
| 16 | 45 | 152 | 27 | 767 |
| 17 | 33 | 198 | 18 | 650 |
| 18 | 24 | 165 | 10 | 393 |
| 19 | 15 | 42 | 4 | 32 |
| | 3.401 | 4.836 | 13.311 | 13.311 |

Tabla 2. Pl. Vertical invierno

| Hora | norte | sur | este | oeste |
|------|--------|-----|-------|-------|
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 22 | 5 | 45 | 0 |
| 8 | 235 | 16 | 508 | 12 |
| 9 | 420 | 22 | 689 | 20 |
| 10 | 581 | 30 | 610 | 32 |
| 11 | 692 | 35 | 382 | 50 |
| 12 | 730 | 42 | 72 | 72 |
| 13 | 692 | 35 | 50 | 382 |
| 14 | 581 | 30 | 32 | 610 |
| 15 | 420 | 22 | 20 | 689 |
| 16 | 235 | 16 | 12 | 508 |
| 17 | 22 | 5 | 0 | 45 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 16.906 | 973 | 8.732 | 8.732 |

Tabla 3. Pl. Horizontal

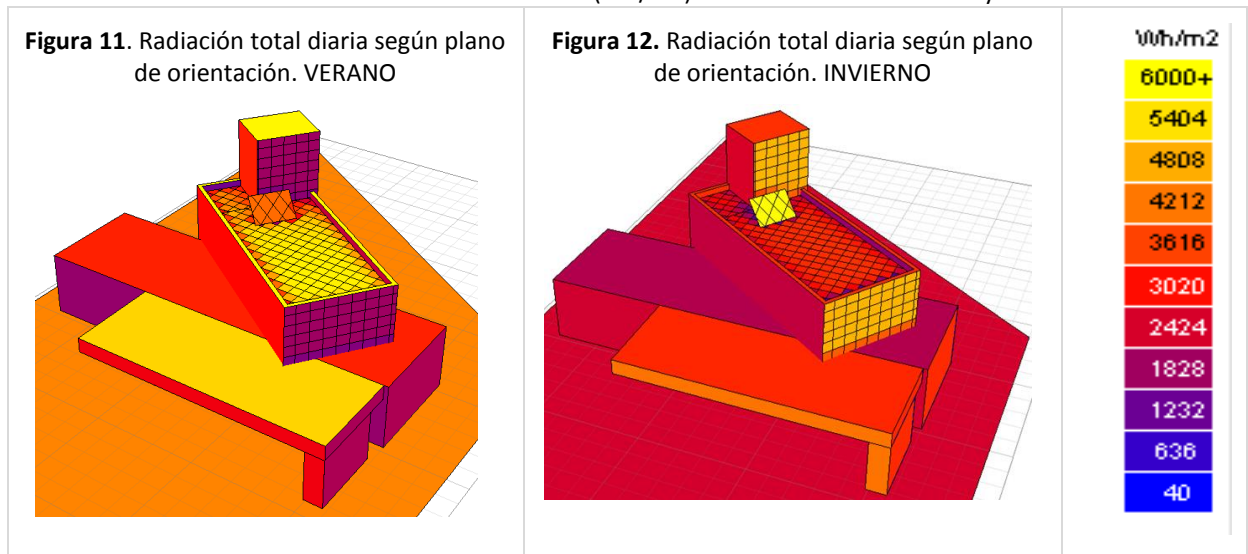
| Hora | ver | inv |
|------|--------|--------|
| 5 | 20 | 0 |
| 6 | 125 | 0 |
| 7 | 380 | 20 |
| 8 | 595 | 98 |
| 9 | 785 | 272 |
| 10 | 937 | 430 |
| 11 | 1035 | 545 |
| 12 | 1057 | 575 |
| 13 | 1035 | 545 |
| 14 | 937 | 430 |
| 15 | 785 | 272 |
| 16 | 595 | 98 |
| 17 | 380 | 20 |
| 18 | 125 | 0 |
| 19 | 20 | 0 |
| | 32.000 | 12.000 |

Fuente: MARISTANY - CIAL- FAUD – UNC – Mediciones Estación RSN.

d) Evaluación de la eficiencia del sistema en distintas orientaciones.

Mediante el uso de Programa Ecotec y los valores de radiación solar horaria para Córdoba, se analizan y evalúan los valores de radiación solar horaria en distintos planos: horizontal y verticales y se los compara con la incidencia de radiación solar en el plano inclinado (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de radiación solar horaria (Wh/m²) en distintas orientaciones y estaciones.



Fuente: Tabla realizada por el autor.

Los resultados establecen como la ubicación de mayor radiación solar en invierno el plano inclinado a 45°, ángulo que presentan los sistemas que se ofrecen en el mercado, sin obstrucciones hacia el norte, seguido por el plano vertical norte y los planos verticales noreste y noroeste con iguales valores. Si se considera la ganancia en verano entre planos verticales el plano norte invierte su comportamiento siendo el de menor ganancia, y los más convenientes corresponden a los planos con orientación noreste y noroeste. El plano horizontal manifiesta un muy buen comportamiento para la ganancia solar, pero su excesiva ganancia en verano podría no ser conveniente para el funcionamiento del sistema.

e) Evaluación económica.

Mediante el cálculo simple de amortización económica se busca establecer el proceso en el que se recupera el valor del elemento, en este caso el sistema de colector solar de tubos de vidrio, con tanque de almacenamiento, controlador y sistema de calentamiento adicional mediante resistencia. Dicha inversión inicial es de \$12.000. Se establece un consumo familiar según se desprende de las encuestas, para una familia tipo de 4 integrantes, cuyo combustible disponible es gas envasado de 40 kg de gas butano por mes, empleado para calentamiento de agua sanitaria y cocción únicamente. Éste consumo contrasta con uno de 10 kg/mes del mismo gas cuando se reemplaza el calentamiento de agua mediante el colector solar. Se establece un costo de \$97 para los 10Kg de gas butano en garrafa según tarifas actuales.

Sin colector se consume 40kg de gas butano envasado con un costo de \$388 por mes, mientras que con colector solar se consume solo 10 kg del mismo gas a un costo de \$97 por mes. Éstos consumos representan un ahorro mensual de \$291, lo que significaría un período de 3 años y 5 meses para recuperar la inversión para este caso testigo.

En el caso de considerarse la inversión en la etapa de obra, la diferencia entre el costo de un termotanque o calefón familiar para calentar agua mediante cualquier combustible no renovable (\$7.000) y el sistema de colector solar completo (\$12.000) sería de \$5.000 y el período de amortización se establecería en 1 año y 5 meses aproximadamente.

5.- Conclusiones

El muy buen grado de insolación en la Ciudad de Córdoba facilita la ganancia energética para ser utilizado en el calentamiento de agua y asegura su calentamiento durante la mayor parte del año.

La energía solar térmica responde a las premisas de la arquitectura sustentable y origina un importante ahorro de energía para aquellos casos en que no se cuenta con el suministro de energías convencionales como el caso del gas natural.

El uso de energías renovables para el calentamiento de agua en viviendas tiene un costo amortizable en corto plazo.

La incorporación de la energía solar térmica debe ser tenida en cuenta desde las primeras etapas de diseño a los fines de adecuarse morfológicamente a la vivienda.

El plano inclinado a 45° ubicado con orientación Norte para hemisferio Sur es el que recibe mayor radiación solar para la Ciudad de Córdoba, coincidente con el montaje del equipo de colector solar de los proveedores, sin embargo los usuarios no se encuentran conformes con el resultado morfológico final ya que al incorporar el sistema a 45° interfiere formalmente en el resultado arquitectónico.

La incorporación de colectores solares en los planos verticales permitiría una nueva percepción e incorporación de esta tecnología en los procesos de diseño y nuevos resultados morfológicos en la arquitectura. La incorporación de los colectores en las envolventes de las viviendas requiere de una nueva solución para la ubicación del tanque de acumulación y la circulación del agua.

Queda pendiente analizar el rendimiento del colector solar en el plano norte vertical en verano, dado que se constituye en el de menor ganancia, esta situación podría no afectar el calentamiento del agua por la disminución del salto térmico entre la temperatura del agua y la temperatura exterior.

Analizar en el futuro el funcionamiento del colector solar en el plano que se sugiere como óptimo de 27° para Córdoba en el estudio de Ángulo óptimo para planos colectores de energía solar integrados a edificios (H. Grossi Gallegos y R. Righini 2012) para verano e invierno, posición que permitiría disimularlo en techo horizontal.

Referencias

- Placco C., Saravia L. y Cadena C., (2008). Colectores Solares para agua caliente. INENCO. CONICET. UNSa. Recuperado de: <http://www.conicet.gov.ar>
- Lambertucci, Rogelio et al., (2005). Evaluación de la Eficiencia energética en edificios en la Ciudad de Córdoba. Parámetros climáticos significativos para el diseño arquitectónico. Clima de la Ciudad de Córdoba. FAUD. UNC.
- Angiolini, S., Jerez, L., Pacharoni, A., Avalos, P., Gatani, M., Bracco, M. (2015). El desafío de habitar con la incorporación de energías limpias. Ponencia presentada en XXXIV Encuentro y XIX Congreso Asociación de Facultades y Escuelas de Arquitectura Públicas de los países de América del Sur- ARQUISUR. "Ciudades vulnerables. Proyecto o incertidumbre". La Plata, 16 al 18 de Setiembre 2015.
- Gobierno de la Provincia de Córdoba. (2013) Dirección General de Estadísticas y Censos. Ministerio de Planificación, Inversión y Financiamiento Gas Entregado. Recuperado de: <http://www.enargas.gov.ar>
- Bracco, Marta et al., (2010). Verificación de pautas de diseño sustentable en una vivienda serrana en Córdoba. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 14, 2010. ISSN 0329-5184.
- H.Grossi Gallegos y R. Righini (2007) "Atlas de energía solar de la República Argentina" Universidad Nacional de Luján. Secretaría de Ciencia y Tecnología Bs As Argentina.
- H. Grossi Gallegos y R. Righini (2012) Ángulo óptimo para planos colectores de energía solar integrados a edificios. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 16, 2012. ISSN 0329-5184.
- Angiolini, Silvina et al., (2009). Análisis comparativo de dos viviendas en Córdoba, evaluando su eficiencia energética. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 13, 2009. ISSN 0329-5184.
- Gil, S. (2007). Gas Natural en la Argentina: presente y futuro. Ciencia Hoy. Octubre – Noviembre. Nº 101- Vol. 17 (pp. 26-36).
- Gatani, Mariana et al., (2008). Definición de indicadores de análisis de diseño sustentable. El caso de una vivienda serrana en Córdoba. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 12, 2008. ISSN 0329-5184.
- Gatani, Mariana et al., (2013). La importancia de la orientación en el desempeño térmico energético de tipología vivienda urbana dúplex. Ponencia publicada XXXII Encuentro y XXVII Congreso Habitar la ciudad, Tiempo y Espacio ARQUISUR 2013. FAUD UNC. Editorial FAUD UNC. Ebook Eje Temático 1- Investigación: 1.3 Paisaje- Ambiente y Ciudad. ISBN 978-987-1494-34-7
- Valores de Radiación solar horaria para Córdoba Capital. Estación radiación solar CIAL-FAUD-

Autores

Silvina Angiolini es Arquitecta, Magíster en Docencia Universitaria, Profesora Adjunta FAUD - UNC. silvinaangiolini@gmail.com

Lisardo Jerez es Arquitecto, Profesor Asistente FAUD UNC. jerezlisardo@yahoo.com.ar

Ana Pacharoni es Arquitecta, Especialista en Docencia Universitaria, Profesora Asistente FAUD UNC.
anacpacharoni@hotmail.com

Pablo Avalos es Arquitecto, Profesor Asistente FAUD UNC. argavalospablo@hotmail.com

Mariana Gatani es Doctora Arquitecta, Investigadora CONICET, Profesora Asistente FAUD UNC.
mgatani@hotmail.com

Daniela Bracco es Arquitecta, Adscripta FAUD UNC. arg.danielabracco@gmail.com

15. Sustentabilidad en las políticas públicas y legislación

Incorporación de exigencias sobre eficiencia energética edilicia. Normativa caso Rosario.

Arq. Florencia Bordachar¹, Arq. Federico Furno², Mag. Arq. Ana Paula Lattuca³.

Resumen

El objetivo de este trabajo es describir el proceso desarrollado a partir del año 2011, con el fin de reglamentar e implementar la Ordenanza N° 8757, sobre Aspectos Higrotérmicos y Eficiencia Energética de las construcciones en la ciudad de Rosario. Se conformó una comisión especial, integrada por representantes de diferentes instituciones, universidades, colegios profesionales y técnicos municipales, quienes elaboraron un procedimiento de verificación con el fin de evitar el riesgo de condensación superficial e intersticial, verificar la transmitancia térmica en los cerramientos verticales y horizontales de los edificios, y el factor de exposición solar en los cerramientos transparentes. Se puede concluir que a partir del consenso logrado entre las distintas instituciones y actores que participan en la construcción es viable la implementación de normativas que optimizan el comportamiento higrotérmico de la envolvente de los edificios modificando las características constructivas y/o las técnicas edificatorias actualmente en uso.

Palabras clave: eficiencia energética; construcciones; normativa; municipalidad de Rosario.

Edilicia incorporation of demands on energy efficiency. Rosario event rules.

Abstract

The aim of this paper is to describe the process developed from the year 2011, in order to regulate and implement Ordinance N° 8757 on hygrothermal aspects and energy efficiency of buildings in the city of Rosario. a special commission, composed of representatives of various institutions, universities, professional associations and municipal technicians, who developed a verification procedure in order to avoid the risk of surface and intersticial condensation verify thermal transmittance on the vertical walls and horizontal He settled buildings, and the factor of sun exposure in transparent enclosures. We can conclude that from the consensus reached between the

^{1, 2 y 3}. Programa de Construcciones Sustentables y Eficiencia Energética, Secretaría de Planeamiento, Municipalidad de Rosario. Av. Belgrano 328, 3º piso, oficina 340, Rosario, Argentina. Tel: +54-341-4802575.

various institutions and actors involved in construction it is feasible to implement regulations that optimize hygrothermal behavior of the envelope of buildings currently modifying the structural characteristics and / or edificatorias techniques in use.

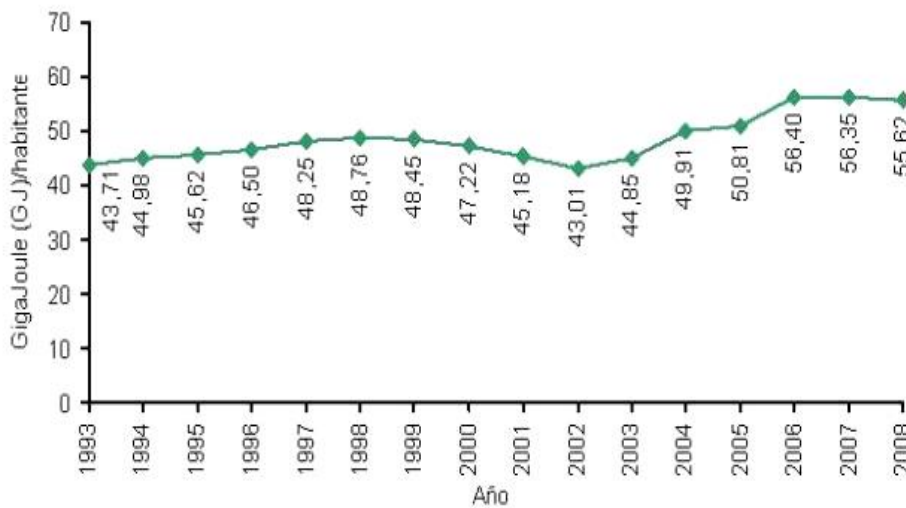
Keywords: energy efficiency; buildings; regulations; municipality of Rosario.

Introducción

La ciudad de Rosario es la primera del país en incorporar exigencias para disminuir el consumo de energía en edificios tanto públicos como privados. A partir del año 2013 se encuentra en vigencia la Ordenanza N° 8757, sobre Aspectos Higrotérmicos y Eficiencia Energética en las construcciones.

La implementación de esta normativa está orientada a paliar la problemática actual de la alta y creciente demanda del consumo de energía de las construcciones. En el siguiente gráfico se evidencia la mencionada problemática, mostrando la evolución del consumo de energía por persona.

Gráfico1: Consumo final de energía per cápita



Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina

Los altos consumos de energía, (gas y electricidad), en su mayoría no renovables, implican a su vez la producción de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global del planeta. Es impostergable la incorporación de soluciones que permitan mitigar los problemas ambientales generados en el interior de las ciudades

El principal objetivo de la mencionada normativa es disminuir el consumo de energía para acondicionamiento térmico tanto en calefacción como en refrigeración y optimizar la relación consumo - habitabilidad como aporte a la problemática ambiental urbana.

Además del ahorro de energía la aplicación de la ordenanza también beneficia las condiciones de habitabilidad con la disminución de procesos patológicos por condensación superficial e intersticial. Esta disminución a su vez, implica la reducción de inversión en el mantenimiento de las construcciones a lo largo de la vida útil de las mismas.

El objetivo de este trabajo es describir el proceso desarrollado a partir del año 2011, con el fin de incorporar exigencias sobre eficiencia energética en las construcciones, mediante la aplicación efectiva de la Ordenanza N° 8757.

Metodología

La Ordenanza N° 8757, establece en su artículo 5 , “que el Departamento Ejecutivo deberá formar una Comisión Especial, compuesta por dos integrantes del Departamento Ejecutivo, un integrante del Colegio de Ingenieros Civiles, un Integrante del Colegio de Arquitectos, un integrante docente-investigador de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, un integrante docente-investigador de la Facultad Regional Rosario de la Universidad Tecnológica Nacional y un integrante docente-investigador de la Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño de la Universidad Nacional de Rosario”.

El Programa de Construcciones Sustentables y Eficiencia Energética dependiente de la Secretaría de Planeamiento de la Municipalidad de Rosario realizó la gestión para lograr la reglamentación e implementación de la Ordenanza N° 8757. Se trabajó a partir de la convocatoria, conformación y coordinación de la Comisión Especial cuyas funciones son:

- Asesorar al Departamento Ejecutivo en la Reglamentación de la Ordenanza y
- Coordinar el asesoramiento, capacitación y seguimiento de los cuerpos técnicos de cada organismo y/o repartición de aplicación.

La mencionada Comisión, constituida por representantes de las distintas Instituciones, Universidades, Colegios Profesionales y técnicos especializados de la Municipalidad de Rosario trabajó durante 23 meses, se realizaron 33 reuniones plenarias, en cada instancia, se destacaron el rigor técnico con que se desarrollaron las discusiones y los acuerdos.

En Mayo de 2013, luego del trabajo participativo desarrollado, se logra el consenso y se firma el acta acuerdo con los representantes de todas las instituciones, documento que avala el trabajo producido y cuyo resultado es el Decreto Reglamentario N° 985/13.

En el mencionado decreto se establece la gradualidad de aplicación de la ordenanza debido a que la Comisión Especial considera que la aplicación de una Normativa que regule las prestaciones mínimas en el comportamiento higrotérmico de la envolvente de los edificios supone algunas modificaciones en las características constructivas más comunes en la actual construcción del parque edilicio; así como también implica la posible demanda de nuevos materiales y sistemas de cerramientos, todo lo cual requerirá un período de adaptación de la industria de la construcción.

Considerando además que algunas de las Normas IRAM de aplicación en esta Reglamentación se encuentran en etapa de discusión de ciertas modificaciones, se propone la aplicación de dos instancias de gradualidad paralelas:

Una instancia de gradualidad que comprende las características de los edificios que estarán dentro de la órbita de aplicación de la reglamentación en relación al tamaño y escala de los mismos y otra instancia de gradualidad que establece la aplicación de exigencias respecto de las características propias de la envolvente de los edificios, (parámetros higrotérmicos y de demanda energética).

Con el objetivo de definir la gradualidad en el tamaño y la escala de los edificios, se realizó el estudio de los datos sistematizados y facilitados por la Dirección General de Obras Particulares. Se analizaron los permisos de edificación tramitados para vivienda colectiva. En la siguiente tabla se presentan los resultados del mencionado análisis.

Tabla 1: Permisos de edificación de vivienda colectiva

| Cantidad (m ²) | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Promedio |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Más de 4000 | 4 | 13 | 21 | 27 | 17 | 5 | 8 | 12 | 16 | 7 | 13 |
| Más de 3000 | 12 | 27 | 33 | 44 | 30 | 11 | 23 | 23 | 26 | 19 | 25 |
| Más de 2000 | 36 | 54 | 67 | 86 | 49 | 33 | 47 | 44 | 47 | 39 | 50 |
| Más de 1000 | 103 | 153 | 207 | 222 | 103 | 98 | 140 | 141 | 143 | 115 | 143 |
| Más de 500 | 187 | 254 | 323 | 344 | 159 | 167 | 224 | 206 | 212 | 198 | 227 |
| Total | 342 | 501 | 651 | 723 | 358 | 314 | 442 | 426 | 444 | 378 | 458 |

Fuente: Tabla realizada por los autores. Datos suministrados por la DGOP.

Se evalúa el relevamiento de permisos de edificación de vivienda colectiva y la cantidad de casos promedio anuales, en base a ello la Comisión Especial establece para la reglamentación de la Ordenanza la siguiente gradualidad de aplicación:

Se verificará en todos aquellos edificios de más de 4000 m² cubiertos -computables-correspondientes a los usos establecidos en el Ámbito de aplicación, para el primer año, y con los que voluntariamente decidan implementarla. A todos los mayores a 3000 m² para el segundo año. A todos los que superen los 2000 m² para el tercer año. A todos los que superen los 1000 m² para el cuarto año; a partir del quinto año a todos los edificios mayores a 500 m² y a partir del sexto año a todas las construcciones incluidas en el Ámbito de Aplicación de la Ordenanza 8757 y en el Decreto Reglamentario 985/2013.

El ámbito de aplicación de la ordenanza incluye: Edificios de nueva construcción, correspondientes a edificios públicos o privados con los siguientes usos: Vivienda unifamiliar, Multivivienda, Oficinas, Estudios, Salones Comerciales, Clínicas, Sanatorios, Hospitales, Supermercados, Auditorios, Casas Velatorias, Casinos, Centros comerciales, Cines, Confiterías bailables, Hoteles y Teatros.

Con respecto a la gradualidad en los Parámetros Higrotérmicos de la envolvente: Se aplicará en los dos primeros años a los parámetros higrotérmicos de la envolvente: (transmitancia térmica, riesgo de condensaciones) y (factor de exposición solar). A partir del tercer año se aplicarán la totalidad de los parámetros que hacen a la demanda energética para el acondicionamiento térmico.

La verificación de los parámetros (transmitancias térmicas y factor de exposición solar) se realizará para los cerramientos de los locales de primera y de cuarta categoría descriptos en el punto 3.4.1.1. del Reglamento de Edificación de la ciudad de Rosario. Los locales a verificar mencionados en el Reglamento de edificación son: bibliotecas, billares, comedores, consultorios, dormitorios, escritorios, living-rooms, oficinas, salas, salas para juegos infantiles, confiterías, gimnasios, locales deportivos, laboratorios y locales comerciales.

En el caso que las superficies transparentes verticales superen el 60 % de la fachada, el valor máximo admisible de transmitancia térmica será 1.80 W/m²K.

Dados los valores máximos de Transmitancia Térmica exigidos para techos y paredes, no será necesaria la verificación del riesgo de condensación superficial.

A los fines de evitar las condensaciones intersticiales el Decreto Reglamentario establece que se exigirá la existencia de barrera de vapor, cuando fuera necesario por las características del material, debiendo verificarse su materialización y ubicación relativa en el detalle constructivo a presentar.

Tabla 2: Valores máximos admisibles de Transmitancia Térmica

| Tipo de cerramiento | Valores máximos admisibles. Decreto 985/13 K máximo [W/m ² K] |
|---|--|
| Techos | 0.38 |
| Cerramientos verticales opacos | 0.74 |
| Cerramientos transparentes (hasta 60%) | 2.80 |
| Cerramientos transparentes (superior a 60%) | 1.80 |

Fuente: Comisión Especial: Decreto Reglamentario 985/2013.

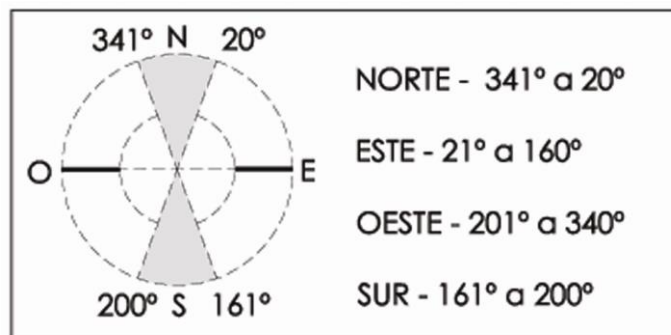
.Las exigencias de protección solar se establecen en relación a las orientaciones de cada una de las superficies semitransparentes. El factor de exposición solar (Fes) relaciona el tipo de protección solar propuesta con el valor correspondiente a un vidrio incoloro de 3 mm de espesor sin protecciones ni obstrucciones.

El Fes deberá ser inferior a los establecidos por la Comisión Especial, que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 3: Valores máximos admisibles de Factor de Exposición Solar

| Orientaciones | FES máximo |
|---|------------|
| Cuadrante Norte (NNE- NNO) 341° a 20° | 0.45 |
| Cuadrantes Este y Oeste. 21° a 160° y 201° a 340° | 0.30 |
| Cuadrante Sur (SSE – SSO) 161° a 200° | 0.90 |
| Lucernarios y planos inclinados con ángulo inferior a 60° | 0.25 |

Fuente: Comisión Especial: Decreto Reglamentario 985/2013.

Gráfico 2: Delimitación de las Orientaciones

Fuente: Decreto Reglamentario 985/2013.

La orientación de las paredes exteriores y cerramientos transparentes se definirá por el valor angular formado por el norte geográfico y la normal a dicho cerramiento, medido en sentido horario.

Las planillas de verificación de transmitancia térmica y de factor de exposición solar fueron diseñadas en colaboración con la Comisión Especial, los valores de conductividad y de densidad de los materiales se tomaron de la Norma IRAM Nº 11601. Además se incorporaron nuevos materiales del mercado, ensayados y certificados por institutos oficiales.

Resultados

El Decreto reglamentario 985 entró en vigencia el 1º de julio de 2013, el cumplimiento del mismo se encuentra a cargo del Programa de Construcciones Sustentables y Eficiencia Energética. El procedimiento de verificación se realiza en dos instancias, verificación de proyecto por medio del inicio de un expediente que contiene la documentación técnica, según lo establecido en el mencionado decreto, planos de arquitectura en escala 1:100, detalles constructivos en escala 1:10 y 1:20, planillas de verificación de transmitancias térmicas para techos y paredes exteriores de cada solución constructiva, planilla de locales indicando áreas de superficies transparentes y áreas de paredes exteriores por fachada, planilla de verificación de transmitancia térmica y factor de exposición solar de cerramientos transparentes según orientación.

El Programa de Construcciones Sustentables analiza y evalúa la documentación presentada. Si cumple con lo establecido en el Decreto Reglamentario 985/13, se emite el certificado de Aspectos Higrotérmicos y Eficiencia Energética, se solicita el juego de planos para el inicio del permiso de edificación, se verifica que los mismos coincidan con lo ya presentado por expediente se sellan y se entregan junto con el certificado para ser presentados en la Dirección General de Obras Particulares.

La segunda instancia comprende la inspección y verificación de la construcción, que realiza el Programa según lo establecido en el ítem 1.2.2 del mencionado Decreto, mediante el control de la obra a través de las inspecciones en las distintas etapas de ejecución de la misma.

El Programa realiza las inspecciones en las distintas etapas de ejecución para verificar que las soluciones técnicas ejecutadas, tanto para cerramientos verticales como para techos, y cerramientos transparentes se correspondan con la documentación técnica aprobada según el certificado de Aspectos Higrotérmicos y Eficiencia Energética.

Luego de aprobada la etapa de control de obra se emite el Certificado de Aspectos Higrotérmicos y Eficiencia Energética Final para ser presentado en la Dirección General de Obras Particulares para la solicitud del Final de Obra.

A la fecha marzo de 2016, con 32 meses de vigencia de la Ordenanza teniendo en cuenta la gradualidad en la escala de los edificios establecida según el Decreto reglamentario se presentaron los siguientes casos:

Tabla 4: Casos presentados para el cumplimiento de la Ordenanza N° 8757.

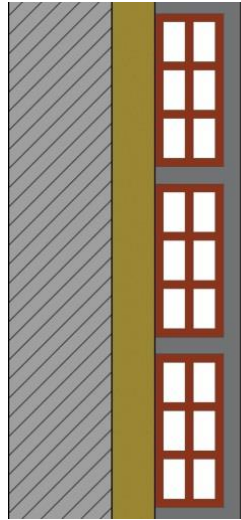
| Etapas de aplicación | Cantidad de casos | Cantidad de metros cuadrados |
|-------------------------|---|------------------------------|
| Julio 2013- Junio 2014 | 5 casos de más de 4.000 m ² | 33.363 m ² |
| Julio 2014- Junio 2015 | 11 casos de más de 3.000 m ² | 55.293 m ² |
| Julio 2015 – Marzo 2016 | 23 casos de más de 2.000 m ² | 131.264 m ² |
| Totales | 39 casos | 219.920 m ² |

Fuente: Tabla realizada por los autores.

Dentro de los casos presentados, se encuentran un centro comercial, un edificio de uso exclusivo de oficinas, un edificio de vivienda pública para sectores sindicalizados y edificios privados de vivienda colectiva.

A continuación se presentan los detalles constructivos de las soluciones adoptadas en los casos presentados hasta la fecha.

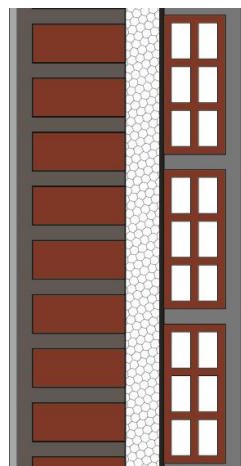
Figura 1. Solución constructiva para paredes exteriores tipo 1.



| Material | Espesor | Resistencia Térmica |
|--|---------|-----------------------|
| | [cm] | [m ² K/W] |
| Hormigón Armado de piedra de 2500 Kg/m ³ | 12 | 0,052 |
| Filtro de lana de vidrio de 15Kg/m ³ con film de barrera de vapor | 5 | 1,25 |
| Bloque cerámico hueco 8x18x33 | 8 | 0,23 |
| Mortero de cemento y arena | 2 | 0,017 |
| Mortero de yeso | 1 | 0,018 |
| Resistencia térmica total: | | 1,737 |
| Transmitancia térmica K [W m ² /K] : | | 0,58 |
| Valor máximo admisible según Decreto K [W/m ² K] : | | 0,74 |

Fuente: Figura realizada por los autores.

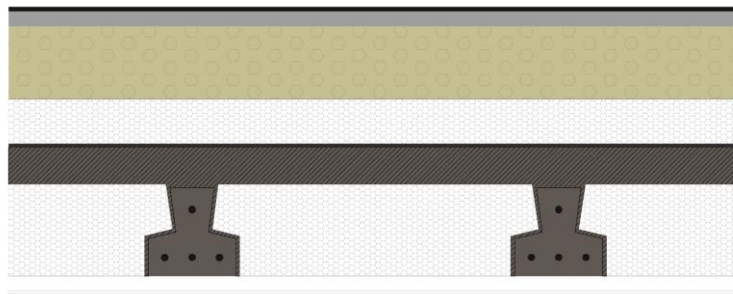
Figura 2. Solución constructiva para paredes exteriores tipo 2.



| Material | Espesor | Resistencia Térmica |
|--|---------|------------------------|
| | [cm] | [m ² K/W] |
| Mortero de cal y arena | 1 | 0,014 |
| Mortero de cemento y arena | 2 | 0,017 |
| Ladrillos macizos comunes de 1600 kg/m ³ | 12 | 0,148 |
| Plancha Poliestireno expandido de 20 Kg/m ³ | 3 | 0,857 |
| Material asfáltico pintura asfáltica, barrera de vapor | 0,2 | 0,009 |
| Bloque cerámico hueco 8x18x33 | 8 | 0,23 |
| Mortero de cemento y arena | 2 | 0,017 |
| Mortero de yeso | 1 | 0,018 |
| Resistencia térmica total: | | 1,48 |
| Transmitancia térmica K [W/m ² K] : | | 0,68 |
| Valor máximo admisible según Decreto, K [W/m ² K] : | | 0,74 |

Fuente: Figura realizada por los autores.

Figura 3. Solución constructiva para techos tipo 1.



| Material | Espesor | Resistencia Térmica |
|---|---------|------------------------|
| | [cm] | [m ² K/W] |
| Membrana asfáltica | 0,5 | 0,007 |
| Carpeta de cemento y arena | 2 | 0,017 |
| Hormigón de perlitas de poliestireno de 1000 kg/m ³ | 10 | 0,385 |
| Plancha de poliestireno expandido de 20 Kg/m ³ | 6 | 1,714 |
| Material asfáltico pintura asfáltica, barrera de vapor | 0,2 | 0,009 |
| Losa con bovedilla EPS altura 12cm capa de compresión 5 cm | 17,5 | 0,54 |
| Mortero de cemento y arena | 2 | 0,017 |
| Mortero de yeso | 1 | 0,018 |
| Resistencia térmica total: | | 2,847 |
| Transmitancia térmica K [W/m ² K] : | | 0,35 |
| Valor máximo admisible según Decreto K [W/m ² K] : | | 0,38 |

Fuente: Figura realizada por los autores.

Figura 4. Solución constructiva para techos tipo 2.

| Material | Espesor | Resistencia Térmica |
|--|---------|------------------------|
| | [cm] | [m ² K/W] |
| Membrana asfáltica | 0,5 | 0,007 |
| Carpeta de cemento y arena | 2 | 0,017 |
| Hormigón de perlitas de poliestireno de 1000 kg/m ³ | 10 | 0,385 |
| Plancha Poliestireno expandido de 20 Kg/m ³ | 7 | 2,00 |
| Material asfáltico pintura asfáltica, barrera de vapor | 0,2 | 0,009 |
| Losa Hormigón Armado de piedra de 2500 Kg/m ³ | 12 | 0,052 |
| Mortero de cemento y arena | 2 | 0,017 |
| Mortero de yeso | 1 | 0,018 |
| Resistencia térmica total: | | 2,645 |
| Transmitancia térmica K [W/m ² K] : | | 0,38 |
| Valor máximo admisible según Decreto K [W/m ² K]: | | 0,38 |

Fuente: Figura realizada por los autores.

Conclusiones

El cumplimiento de la Ordenanza permite optimizar el consumo de energía en calefacción y refrigeración en un 40 por ciento, disminuir las emisiones de CO₂, generando beneficios ambientales y colectivos. Además posibilita concientizar a la población sobre los problemas ambientales urbanos, dado que a través del cumplimiento de la Ordenanza se produce un cambio cultural tanto para los usuarios que habitan los edificios como para los profesionales, debido a que se implementa una nueva forma de diseñar y construir a partir del estudio previo de las orientaciones, la incorporación de protecciones solares, de aislación térmica y de materiales que eviten la condensación intersticial.

La exigencia de la Ordenanza si bien permite la disminución de los costos energéticos logrando beneficios ambientales para toda la población, en algunos casos demandan costos crematísticos superiores que debe afrontar el usuario residencial. Con el fin de equilibrar estos costos el Municipio propuso la creación del Fondo para la Promoción de la Sustentabilidad Edilicia. El mencionado Fondo fue creado con el objetivo de solventar políticas públicas con el fin de disminuir el consumo de energía en las construcciones existentes, minimizar su impacto sobre el soporte natural y potenciar criterios de sustentabilidad en las nuevas construcciones de la ciudad.

Podemos concluir que el trabajo interinstitucional de la Comisión Especial posibilitó la redacción del decreto reglamentario consiguiendo que la ordenanza 8757 sea aplicable. Por otro lado debemos

destacar que la aplicación efectiva de la ordenanza se logró debido al compromiso y a la decisión política de la actual gestión municipal.

Bibliografía

Martínez Alier, J. (1998). *Curso de economía ecológica*. Serie de textos básicos para la formación ambiental Nº 1. (1ªed.corregida) México: PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.

Naredo, J.M. (2002). *Ciudades sostenibles. Instrumentos para paliar la insostenibilidad de los sistemas urbanos*. Recuperado el 11 de junio de 2012, de <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n24/ajnar.html>

Norma IRAM 11601:2002. *Aislamiento térmico de edificios, métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Norma IRAM 11603:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Norma IRAM 11605:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Norma IRAM 11625:1991. *Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua, superficial e intersticial en muros, techos y otros elementos exteriores de edificios*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Norma IRAM 11630:2000. *Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua, superficial e intersticial en los puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Desarrollo urbano sostenible de áreas de piedemonte. El caso del Área Metropolitana de Mendoza

Ana Laura Castillo¹, Erica N. Correa¹, M. Alicia Cantón¹

Resumen

La expansión urbana sobre el piedemonte en Mendoza ha continuado un esquema similar al del llano, los sucesivos asentamientos planificados o espontáneos, lejos de generar procesos integradores y adaptados al medio, han colaborado con el constante deterioro de la calidad ambiental. Para controlar esta situación la provincia ha tratado en los últimos treinta años de ordenar este crecimiento a través de un conjunto de reglamentaciones. Este trabajo analiza diferentes esquemas de urbanización presentes en el piedemonte mendocino. A partir de un conjunto de indicadores caracteriza cada esquema, y realiza un diagnóstico de su situación tomando como base los criterios de ordenamiento contenidos tanto en la legislación vigente en Mendoza, como los contemplados para el ordenamiento de otras ciudades con espacios de piedemonte en América del Norte y Europa. El objetivo es detectar fortalezas y debilidades del marco regulatorio de Mendoza y su incidencia en la sustentabilidad del desarrollo urbano.

Palabras clave: piedemonte; ordenamiento territorial; urbanización; sustentabilidad.

Sustainable urban development on hillsides areas. The case of Greater Mendoza

Abstract

Urban sprawl on the hillside of Mendoza Province continued the urban planning criteria of the flatland. Successive planned or spontaneous settlements, far from generating integrators and adapted processes to the environment, have contributed to the steady deterioration of environmental quality. To handle this situation the province has tried in the last thirty years ordain this growth through a set of regulations. This paper analyzes different patterns of urbanization present in the Mendoza hillsides. From a set of indicators characterizing each scheme, and performs a diagnosis of the situation based on the sort criteria contained in legislation in force in Mendoza, as referred to the system of other cities in the hillsides spaces North America and Europe. The aim is to identify strengths and weaknesses of the regulatory framework of Mendoza and its impact on the sustainability of urban development.

Keywords: environmentally conscious architecture, energy efficiency, buildings thermal conditioning.

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE CCT CONICET Mendoza). Av. Ruiz Leal, s/n. Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina. Tel: +54-261-524-4310. e-mail: alcastillo@mendoza-conicet.gob.ar

Introducción

Los asentamientos del conglomerado humano del Área Metropolitana de Mendoza (AMM) se han expandido en dos direcciones: una, hacia el oasis irrigado y otra, hacia el oeste, ascendiendo sobre el piedemonte. La denominada “Ciudad-Oasis” ha crecido sobre el piedemonte con su tradición urbanística de llanura, no advirtiéndose a tiempo que un territorio distinto requiere respuestas distintas. (Abraham, 1990). Entre los impactos y conflictos más importantes del piedemonte mendocino se encuentra la urbanización acelerada y no planificada. Esto se manifiesta tanto en asentamientos espontáneos como en barrios de origen público y privado. Todos ellos se caracterizan por procesos de urbanización no adaptados al ambiente pedemontano, con escasos recursos de agua y suelo, destrucción de la vegetación natural, aceleración de la escorrentía y degradación del paisaje.

Este trabajo analiza diferentes esquemas de urbanización implantados en el piedemonte del Gran Mendoza en función de su morfología, identificando las estructuras urbano-espaciales de acuerdo con: su pendiente, sus esquemas de amanzanamiento y distribución de lotes (tamaño y orientación); diseño, dimensionado y materialidad de redes de circulación y drenaje; configuración y tipo de vegetación. A partir de caracterizar cada configuración mediante un conjunto de indicadores urbano-edilicios es posible obtener un diagnóstico a escala macro. Sumado, se evalúan los criterios rectores para el desarrollo del hábitat en el piedemonte, tomando como base lo propuesto a través de las reglamentaciones o códigos existentes en Mendoza y en países como Estados Unidos, Canadá y España. El objetivo general es generar un conjunto de criterios destinados a regular el crecimiento urbano del piedemonte mendocino que garanticen su desarrollo sustentable y la elaboración de políticas públicas para la prevención de desastres naturales.

Metodología

1. Selección y definición de indicadores urbanísticos y edilicios.

Para el análisis comparativo de los casos de estudio se han seleccionado indicadores de dos tipos: urbanísticos y edilicios, utilizados con frecuencia para ordenar el desarrollo urbano de la ciudad, es decir códigos de edificación, reglamentos y leyes de ordenamiento territorial de la provincia.

Los esquemas seleccionados se analizan con respecto a seis indicadores urbanísticos: *tipo de amanzanamiento; perfil urbano; diseño, dimensionado y materialidad de redes de circulación; pendiente; preservación del medio ambiente; vegetación*. Y con respecto a los cinco indicadores edilicios, siendo estos: *Factor de Ocupación del Suelo (FOS); Factor de Ocupación del Terreno (FOT); Altura; Retiro y Dimensiones Mínimas de Lotes*

1.1. Selección y caracterización de casos de estudio

Se seleccionaron 3 barrios ubicados en el piedemonte que muestran distintos modelos de implantación en el territorio: Supe, La Estanzuela y Dalvian, estos presentan diferencias en sus características urbanísticas, ubicación geopolítica y responden a diferentes iniciativas: públicas y privadas. La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de cada barrio y las zonas de peligrosidad aluvional del piedemonte.

1.2. Selección del área muestral

De cada barrio se eligió un conjunto de manzanas que resultan representativas según su disposición, orientación, porcentaje de superficie permeable, tipología y tecnología de vivienda, entre otros. En la Figura 3 se resaltan las manzanas seleccionadas en cada caso.

Figura 1. Ubicación geográfica de los barrios a analizar, diferenciación de zonas según su peligrosidad aluvional fallas geológicas.



Además de representar distintos criterios de urbanización presentes hoy en el piedemonte de la provincia, se seleccionaron estos casos de estudio, dado que se encuentran consolidados y fueron construidos en distintos períodos de tiempo, siendo alguno de ellos o algunas de sus etapas previas o posteriores al dictado de las leyes antes descriptas. Los esquemas urbanos seleccionados se identifican como: barrio SUPE (BS), Estanzuela (BE) y Dalvian (BD), sus características se ven en el Figura 2.

Figura 2. Caracterización de los esquemas elegidos

| | BARRIO SUPE | BARRIO ESTANZUELA | BARRIO DALVIAN |
|----------------------------|---|--|--|
| AÑO DE CREACIÓN | 1966 | 1985 | 1969 |
| UBUCACIÓN GEOGRÁFICA | Departamento de Godoy Cruz, sus coordenadas son 32°54' y 68°53' a una altitud de 905 msnm | Departamento de Godoy Cruz, sus coordenadas de 32°56' y 68°52' a una altitud de 907 msnm | Departamento de Capital, límite oeste del sector urbano, sus coordenadas son 32°52' y 68°53', altitud 927 msnm |
| SUPERFICIE N° DE VIVIENDAS | Superficie de 453.855 m2, total de viviendas: 1601 | Superficie: 700.408 m2, total de viviendas 1750 | Superficie: 1.783.755 m2, total de viviendas: 924 |
| ORIGEN | PÚBLICO | PÚBLICO | PRIVADO |

1.3. Estudio de antecedentes. Recopilación de Normativa a nivel internacional y local

El universo de análisis se compone de un conjunto de documentos, seleccionados de acuerdo al grado de profundidad y alcance, de normativas que regulan el desarrollo de áreas de piedemonte. De esta forma se define un universo de cuarenta y ocho (48) documentos, treinta y nueve (39) de los cuales pertenecen a regulaciones internacionales y nueve (9) a la provincia de Mendoza.

Las regulaciones internacionales se distribuyen, en términos de localización y según la clasificación climática de Köppen (Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006), de la siguiente manera: Norteamérica (28): clima árido cálido –BWh– (16); árido frío –BWk– (4); semiárido cálido –BSh– (2); semiárido frío –BSk– (2) y subtropical sin estación seca (verano cálido) –Cwa– (4). Canadá (3): clima continental mediterráneo (verano cálido, invierno frío) –Dsa–(1) y continental sin estación seca (verano cálido, invierno frío) –Dfa– (2). España (8): clima árido frío –BWk–. Mendoza (9) - clima árido frío –BWk–.

En la provincia de Mendoza, como respuesta a la necesidad de ordenar el crecimiento en el piedemonte, se han sucedido una serie de leyes y decretos durante el periodo 1983-2014. Las normativas o leyes consideradas para el análisis crítico de la situación regulatoria del piedemonte en la provincia fueron:

. Ley 4886: *Disposición del suelo de zona oeste del Gran Mendoza*, 1983. Establece criterios de preservación del medio ambiente, delimita zonas estableciendo usos y dimensiones de lotes; y define indicadores para ordenar los espacios urbanizables. Es de carácter claramente restrictiva.

. Ley 5804: *Expropiación de terrenos para conservación de sistema ecológico*, 1991. Se establecen áreas zonificadas en la antigua ley, y se delimitan sectores no urbanizables por la presencia de fallas sísmicas. Otro aspecto importante, es la propuesta de crear un nuevo sistema ecológico para evitar la degradación del suelo y el progresivo deterioro ambiental.

. Decreto 1077: Enmarcado dentro de Ley 5804, 1995. Crea la Comisión Reguladora del Piedemonte (CRP) y define pautas urbanísticas y edilicias en los usos residenciales, entre ellas: Adaptación del trazado urbano a la forma del terreno; empleo de sistemas para favorecer la infiltración y evitar los excedentes pluviales fuera del predio; forestación con especies adaptadas al lugar con el objeto de fijar los suelos, prevenir la erosión, proporcionar sombra, mejorar el paisaje y propiciar la recreación evitando la existencia de espacios abiertos sin cobertura vegetal.

. Decreto 1939: enmarcado dentro de Ley Provincial de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo, 1996. Ejecutar un código urbano específico para el piedemonte, hacer cumplir la prohibición de realizar nuevos fraccionamientos, loteos o urbanizaciones y considerar las posibles excepciones.

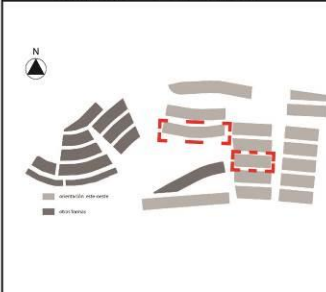
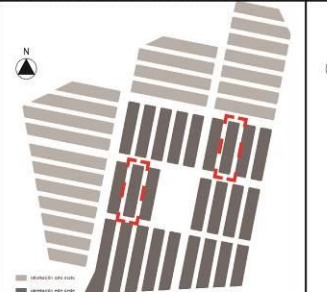
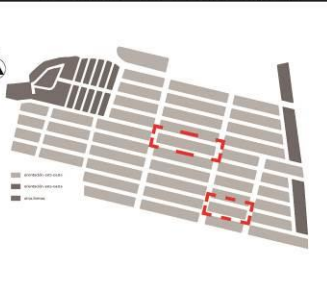
. Ley 8051: Ordenamiento Territorial y Usos del suelo, 2014. El principal objetivo de esta ley es establecer la ejecución de obras de infraestructura y equipamiento para un desarrollo urbano planificado y ambientalmente adecuado.

Resultados

2.1. Evaluación de indicadores urbanísticos

2.1.1 .Tipo de amanzanamiento

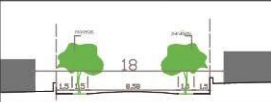


Figura 3. Comparación de tipo de amanzanamiento

| | BARRIO SUPE (BS) | BARRIO ESTANZUELA (BE) | BARRIO DALVIAN (BD) |
|---------------------|--|--|---|
| |  |  |  |
| TRAMA | Un sector presenta una trama ortogonal, en cambio en el sector de cota más elevada la traza es orgánica continuando la geomorfología del terreno. | Trama de carácter racional. | Crecimiento en etapas siempre siempre con un trazado ortogonal |
| DIMENSIONES MANZANA | El tipo de manzanas es rectangular de 40 m de ancho con una proporción 3/1, el 57 % de las manzanas se desarrolla a partir de un eje principal de oeste-este | Las manzanas poseen una relación de 4/1, el 52 % es de orientación norte-sur, mientras que el 48 % es de orientación oeste-este. | Manzanas rectangulares de 50 m de ancho con una proporción de 6/1 y 4/1. El 75 % están orientadas oeste-este, el 21 % con orientación norte-sur y el 2 % son formas sin un eje preciso. |

La Figura 3 muestra las tramas de los diferentes barrios. La orientación predominante es este/oeste en BD, y mixta en una proporción aproximada al 50 % (este/oeste y norte/sur) en el BE y BS.

2.1.2. Perfil urbano

Figura 4. Comparación perfil urbano

| BARRIO SUPE | BARRIO ESTANZUELA | BARRIO DALVIAN |
|---|---|--|
|  |  |  |
| El perfil urbano de este barrio posee una proporción H/W (altura edilicia/ancho de canal vial) de 0,22. | La proporción de H/W en este caso es de 0,14 | Muestra condiciones variables que oscilan en un rango de 0,16 a 0,28. |

La Figura 4 muestra los perfiles pertenecientes a los tres barrios, se observa una condición de menor compacidad en el BE, el BS muestra una estructura más compacta.

2.1.3. Diseño, dimensionado y materialidad de redes de circulación y drenaje;

Figura 5. Comparación red vial y cauces

| | BARRIO SUPE | BARRIO ESTANZUELA | BARRIO DALVIAN |
|--------------------------------|---|--|--|
| DISEÑO URBANO | Diseño orgánico propicia a que los canales viales sigan los contornos del terreno | Diseño urbano ortogonal | Diseño ortogonal |
| DIMENSIÓN DE CANAL VIAL | Calles de 100m de largo por 8 de ancho | La longitud de las calles llegan hasta los 600m y el ancho varía entre los 18m y 20m | 230m hasta 1230m de longitud y 21m de ancho |
| MATERIALIDAD | Canales viales asfaltados en su totalidad; y posee acequias y veredas de 2m de ancho; ambas impermeabilizadas y de hormigón | Red vial asfaltada; sus veredas de 4m de ancho y acequias, son de hormigón | Calles asfaltadas, el sistema de acequias es subterráneo; sendas peatonales angosta impermeabilizadas a modo de veredas, el resto no está perturbado |

La relación entre la superficie destinada a la vialidad y al área de manzanas es similar en todos los casos -proporción cercana al 30/70-. En las Figura 5 se aprecia que las dimensiones de las calles varían según el esquema planteado en cada barrio. Los BS y BE presentan el total del área correspondiente a calles y veredas impermeabilizadas. Si bien los esquemas formales presentes en las redes viarias de los barrios evaluados cumplen con los valores dados en la Legislación, el diseño ortogonal de la red vial genera un escenario peligroso ya que la disposición oeste-este y su impermeabilización aceleran el avance de excedentes pluviales y representan extensas áreas de exposición y acumulación de radiación solar. Por otra parte en todos los casos evaluados se detectan impermeabilizadas las acequias y el material escogido para la pavimentación de las vías de circulación es asfalto, cuya capacidad de absorción de la radiación solar es mayor y su capacidad de acumulación menor. Respecto de las vías peatonales sólo BD presenta mínima impermeabilización preservando mayor proporción de suelo permeable. Esto mejora tanto las posibilidades de infiltración del suelo como el ambiente térmico de los espacios conexos durante las horas de máxima radiación solar. Estos fenómenos a microescala son relevantes a escala macro dado el porcentaje de territorio que estas infraestructuras representan (30 % del total).

2.1.4. Pendiente

Figura 6. Esquema en sección del área intervenida en BE y BD

| BARRIO SUPE | BARRIO ESTANZUELA / BARRIO DALVIAN |
|---|---|
| | |
| <p>Preservación de pendientes a través de un diseño que continúa los contornos del terreno. Aterrazamiento del terreno para salvar grandes pendientes, dejando libre sectores de pendientes pronunciadas a espacios abiertos de uso público. Los espacios intervenidos poseen una pendiente aproximada del 1 %, en cambio los espacios libres en los que se preservó la pendiente natural, ésta puede llegar a ser del 35 %</p> | <p>Se modificó por completo las características y topografía natural del suelo. Se detecta una variación de altura desde el centro de estos barrios hasta el borde correspondiente a una pendiente 4,6 % en BE y 5 % en BD, en cambio desde los bordes hasta 1 km a las afueras del barrio, la pendiente aumenta hasta llegar al 35 % en BE y 28 % en BD.</p> |

En todos los casos, para la implantación del barrio se modificó la pendiente natural del terreno, lo que ha originado un grave problema dado que todos los barrios evaluados están localizados en áreas con distinto grado de riesgo aluvional (ver figura 1), en este sentido la alteración del perfil natural del terreno sumado a las altas tasas de impermeabilización del mismo han agudizado el riesgo natural. No sólo no se ha preservado la pendiente de los cauces, sino que en muchos casos se han eliminado completamente. El único barrio que intentó preservar la pendiente en un sector es el BS, intentando continuar con el contorno de los cerros aledaños. Ver figura 6.

2.1.5. Preservación del ambiente

BS: La única característica que se preservó en este barrio es la topografía natural del terreno en ciertos sectores. BE y BD: no se preservó ninguna característica de este sector del piedemonte tales como la vegetación, pendiente y cauces naturales. En muchos casos para salvar grandes diferencias de niveles se agregó diferentes tipos de suelo (relleno), lo que cambió la composición del terreno potenciando los peligros de deslizamiento.

2.1.6. Tipo de vegetación

Figura 7. Sistema de forestación

| BARRIO SUPE | BARRIO ESTANZUELA | BARRIO DALVIAN |
|---|--|--|
|  |  |  |
| Para salvar pendientes pronunciadas se incorporaron espacios vegetados a modo de terrazas, las especies utilizadas en canales ciales: moreras (<i>Morus alba</i>), paraísos (<i>Melia azedarach</i>); en cambio en espacios públicos se plantaron <i>Eucalyptus</i> sp. | Forestado con árboles de aguaribay (<i>Schinus areira</i>) casi en su totalidad, algunos vecinos los sustituyeron por moreras. | Todos los canales viales se forestaron con árboles de aguaribay (<i>Schinus areira</i>), sin permitir su sustitución |

La Figura 7 presenta las especies de vegetación incorporadas. En los barrios Estanzuela y Dalvian, para el arbolado en alineación se han usado especies nativas, solución sustentable desde el punto de vista hídrico, sin embargo la selección de especies para la forestación de los canales urbanos debe considerar un conjunto de aspectos, como por ejemplo usar especies caducifolias para el control del recurso solar en verano y su aprovechamiento en invierno para calefacción e iluminación. El aguaribay posee hojas pequeñas y delgadas, y su permeabilidad es alta, entonces genera poca sombra. Además, desde el punto del manejo fitosanitario, el estado del arte propone homogeneidad por áreas y diversidad por zonas (A. Cantón; A. Mesa; de Rosa, 2004), con lo cual la decisión de usar una sola especie por barrio es riesgosa y podría comprometer la sustentabilidad del bosque urbano.

2.2. Indicadores edilicios

2.2.1. FOS

Originalmente el BS permitió una mayor ocupación del suelo (hasta un 43 %), mientras el BE presentaba mínima ocupación del orden de 27 %, y BD permitía la máxima ocupación del orden del 50 %. Los habitantes con sus modificaciones y ampliaciones fueron alterando los valores de FOS al punto de revertir esta impronta, homogeneizando el porcentaje de ocupación por encima del 60 % para BS y BE, y el BD. Ver Figura 8

2.2.2. FOT

El BD permite máxima densidad de edificación (FOT=1) de los tres barrios estudiados. Dicho valor decrece progresivamente alcanzando un FOT de 0,6 a 1 en el BS y 0,42 a 0,55 en la BE. Ver Figura 8.

2.2.3. Altura

Se demuestra que con excepción del BD, el BS y BE han modificado las alturas dadas en el modelo constructivo original, creciendo estos dos barrios de un nivel a dos. Ver Figura 8.

Figura 8. Comparación de FOS, FOT y alturas

| B. SUPE | | B. ESTANZUELA | | B. DALVIAN | |
|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| condición inicial | condición actual | condición inicial | condición actual | condición inicial | condición actual |
| | | | | | |
| FOS : 0,43 | FOS : 0,78 | FOS : 0,27 | FOS : 0,78 | FOS : 0,45 | FOS : 0,45 |
| FOT : 0,60 | FOT : 1 | FOT : 0,42 | FOT : 0,55 | FOT : 1 | |
| | | | | | |

2.2.4. Retiros

El análisis comparativo de los datos de la Figura 9 indica que aunque este indicador estaba regulado o seguía un diseño urbano estipulado en su etapa de diseño, las ampliaciones realizadas en las viviendas modificaron los parámetros dados.

2.2.5. Dimensiones de Lote

La Figura 10 pone en evidencia una clara diferencia entre los barrios de diferentes iniciativas (públicas y privadas) en cuanto a las dimensiones del terreno, mientras que en los de iniciativa pública se mantiene de 200 m², los lotes privados inicialmente presentan el doble de esta superficie y pueden llegar a tener cinco veces el tamaño de los públicos.

Figura 9. Comparación de retiros

| B. SUPE | | B. ESTANZUELA | | B. DALVIAN |
|--------------------|------------------|--------------------|------------------|---|
| condición inicial | condición actual | condición inicial | condición actual | condición actual |
| | | | | |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 18 |
| 200 m ² | | 200 m ² | | 400 m ² hasta 1000 m ² |

Figura 10. Comparación dimensión de lote

| B. SUPE | | B. ESTANZUELA | | B. DALVIAN |
|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| condición inicial | condición actual | condición inicial | condición actual | condición actual |
| | | | | |
| 2,5 | 0,00 | 2,5 | 0,00 | 2,5 |

3. Patrones de desarrollo urbanístico de los casos evaluados en el piedemonte provincial y su relación con los criterios contemplados por las regulaciones existentes tanto a nivel local como internacional.

En este apartado se analiza cómo se regulan, a nivel local e internacional, los indicadores urbanísticos y edificios para el desarrollo sustentable del piedemonte y en qué medida el desarrollo urbano actual del piedemonte mendocino refleja la incorporación o desestimación de los criterios establecidos.

3.1. Respecto a los indicadores urbanísticos los aspectos contemplados son

3.1.1. Tipo de amanzanamientos: En Mendoza sólo la ley 4886 establece que el diseño de las urbanizaciones debe estar adaptado a la forma del terreno. Norteamérica propone un tipo de amanzanamiento que continua las formas del terreno, y rompe con el esquema racional tradicional, estableciendo un esquema en forma de racimo (cluster) el cual agrupa las residencias dejando espacio natural libre (City of Folsom. Hillside Development Guidelines, 1995; Desert Uplands Area Design Guidelines. Mesa, 2010; Las Vegas Zoning Code. Nevada, 2006). Europa continúa el esquema orgánico, acompañando el perfil del suelo montañoso (Peña Fernández F. & Salcedo J.M., 2007). En

base a esto, BS es el único que en parte mantiene la forma natural del terreno dando como resultado una trama urbana irregular.

3.1.2. Perfil urbano: En Mendoza la Ley 8051 indica que se debe realizar un desarrollo “ambientalmente” adecuado. Norteamérica busca conservar las características naturales del piedemonte fomentando, para el desarrollo urbano-edilicio, estructuras de características similares al sitio de implantación, tanto en su materialidad como en color (Planning and Development Services, 2005; Yuma County Zoning Ordinance, 2006). Europa busca preservar el carácter formal de las ciudades, respetando alturas y tipologías de construcciones existentes (M. Oleón, 2009; Peña Fernández F. & Salcedo J.M., 2007). En Mendoza se aprecian dos modelos: un esquema abierto tanto en planta como en altura (BE), un esquema más cerrado a partir de la densificación en planta o en altura (BS). En cambio el BD es un esquema mixto, es abierto en relación a la planta, pero densificado a partir de la altura. Se destaca que no continúa ningún criterio, ni continuar el perfil urbano existente o preservar las características paisajísticas del entorno del sitio de implantación.

3.1.3. Diseño, dimensionado y materialidad de redes de circulación y drenaje: La ley 4886 de Mendoza, expresa que el trazado de calle principal debe ser de 10 m de ancho y las de servidumbre de 8 m de calzada como mínimo. La vía de acceso debe estar pavimentada y las secundarias mejoradas con materiales o productos pactados por el municipio. En el Decreto 1077 se enuncia que el emplazamiento de calles debe estar en forma paralela a las principales curvas de nivel del terreno. Norteamérica propone mantener las características del terreno, construyendo embalses y canales con materiales propios del lugar, está prohibida la utilización de concreto. También propician generar zonas con suelo altamente permeable, con el objeto de drenar el agua paulatinamente (Phoenix Council, 2014; Planning and Development Services, 2005; Desert Uplands Area Design Guidelines. Mesa, 2010). Europa propone un sistema de alcantarillado subterráneo para derivar hacia embalses de pequeñas dimensiones (Ayuntamiento de Cenes de la Vega, 2008; Departamento de Urbanismo, 2004). En Mendoza, el BS es el único que respeta y continúa las formas del terreno. En cuanto al dimensionado y materialidad todos los barrios cumplen con la Legislación local. Es necesario analizar en profundidad, si las dimensiones y materialidades asumidas en Mendoza dan respuesta a criterios de sustentabilidad para el caso de urbanizaciones en el piedemonte donde es necesario una mínima impermeabilización del suelo y alterar las propiedades térmicas del soporte lo menos posible, para evitar modificar la capa límite térmica del borde oeste de la ciudad que es el sector de penetración de los vientos nocturnos de tipo anabático-catabático. La gran extensión de superficie horizontal expuesta tiene impacto en la generación de la “isla de calor” urbana y las consecuentes cargas térmicas de verano en edificios, particularmente en climas áridos con elevados valores de radiación.

3.1.4. Pendiente: El Decreto 1077 expresa que se debe conservar la red de avenamiento natural: evitado la alteración de cauces de 30° de pendiente o mayor. Norteamérica propone no alterar las pendientes naturales del terreno. Las excavaciones se regulan en función de la pendiente del terreno hasta un máximo de 35%, valor de pendiente por encima del cual no se puede modificar la estructura del terreno (Architectural Standards/Hillside Committee, 2004; Town of Cave Creek - Planning and Zoning, 2007). Europa, establece no construir sobre pendientes mayores al 10% (Ayuntamiento de Cenes de la Vega, 2008). En Mendoza el único esquema que mantuvo en un sector las cotas de nivel originales es el BS.

3.1.5. Preservación del medio ambiente: En Mendoza las Leyes 4886 y 8051 refieren a desarrollos urbanos ambientalmente adecuados a partir de una resolución integral del hábitat. Proponen la

recuperación ambiental de riberas y zonas degradadas. Los criterios regulatorios son amplios y ambiguos, no especifican acciones concretas. Norteamérica busca mantener las características naturales del lugar y minimizar el impacto ocasionado por el desarrollo urbano (City of Henderson Hillside Overlay Zone, 2001; Hillside New Residential Guide. City of Boise, 2010; Council of the City of Scottsdale, 1977). Europa regula el crecimiento, fomentando la preservación del entorno cultural (Ayuntamiento de Cenes de la Vega, 2008). En Mendoza, el BS es el único barrio que ha cumplido con alguna de las pautas mencionadas (preservación de la topografía del suelo), las demás pautas - mantener los esquemas de paisaje, utilizar materiales propios del lugar, preservar flora y fauna, no han sido consideradas.

3.1.6. Vegetación: El Decreto 1077 de Mendoza, especifica forestar con especies adaptadas al lugar, para fijación de suelos, sombra, mejoramiento y protección del paisaje natural. Al desmontar algunos sectores del piedemonte se modificó por completo la flora original. En Norteamérica la conservación de la vegetación es prioritaria. Cuando por diversos motivos ésta sea removida, obligatoriamente debe relocalizarse la misma cantidad de la flora autóctona (Phoenix Council, 2014; Hillside New Residential Guide. City of Boise, 2010). En Europa, la preservación de flora es restrictiva, está prohibido construir sobre las laderas principales de las montañas y se deben respetar las sendas pecuarias (Peña Fernández F. & Salcedo J.M., 2007; Junta de Andalucía, 2009). En Mendoza, BE y BD han forestado los canales viales con especies nativas pero inadecuadas a las condiciones climáticas.

. Respecto a los indicadores edilicios los aspectos contemplados son:

. Factor de Ocupación del Suelo: En Mendoza la ley 4886 fue la primera en regular el uso de suelo en el piedemonte. Establece indicadores cuantitativos (FOS de 0,35). En Norteamérica el FOS depende de la pendiente del terreno y el tamaño de las parcelas. Disminuye progresivamente a medida que aumenta la pendiente - hasta un máximo del 35% - y la dimensión de la parcela. Esto permite mayor ocupación en lotes de menores dimensiones y es restrictivo en las parcelas de mayores dimensiones. Propicia la ocupación de los terrenos de menor pendiente y libera de edificación a las áreas con pendientes pronunciadas manteniendo su fisonomía natural (Architectural Standards/Hillside Committee, 2004; Town of Cave Creek - Planning and Zoning, 2007). Europa fomenta la mayor ocupación en terrenos de menor tamaño a partir de la definición de valores altos de FOS. Por ejemplo en terrenos < a 500 m² el FOS varía entre 0,8 y 0,9, dicha variación depende del destino de la vivienda y la altura de la edificación. Permite la mayor ocupación del suelo para alturas de 6m. (FOS 0,9) y disminuye levemente hasta alcanzar un valor de 0,8 para edificaciones de altura de 12 m. En terrenos (>500 y ≤ a 1000 m²) destinados a viviendas unifamiliares el FOS disminuye a 0,75 (Ayuntamiento de Cenes de la Vega, 2008). En Mendoza, el BE de origen posterior a la sanción de la ley se encuentra dentro de los valores dados por la Ley 4886 (FOS = 0,35), los BS y BD superan este valor presentando desde sus inicios valores de 0,43 y 0,50 respectivamente. La situación inicial se ha agudizado en el caso del BS y BE el factor de ocupación de suelo prácticamente se ha duplicado en relación al máximo permitido por la Legislación. Esto evidencia que la ley legisla la ocupación del suelo al comienzo del barrio, sin contemplar la ampliación de la vivienda, es necesario que la ley regule el crecimiento. Esta situación no se suscita en los barrios de iniciativa privada ya que poseen una normativa propia.

. En la actualidad el FOT de los casos estudiados está comprendido dentro de los valores estipulados por la ley (FOT=1), pero originalmente variaban entre 0,42 - 0,6, es decir, podrían superar los valores que establece la normativa si se mantiene el ritmo de crecimiento sin intervención del estado.

Norteamérica y Europa no regulan FOT. En Norteamérica queda definido como resultado de la regulación de FOS y la altura de la edificación.

. Altura máxima. En Mendoza la máxima permitida por la ley 4886 es 10 m. La influencia de la altura está estrictamente vinculada al valor del FOS, si se permite un crecimiento en altura pero se mantiene un valor de FOS relativamente bajo – se está densificando en altura, manteniendo mayor proporción de suelo permeable mejorando la escorrentía del terreno. El desarrollo en altura está limitado por factores como la naturaleza sísmica del territorio. Norteamérica permite una altura máxima de 10 m, definida a partir de una rasante paralela a la pendiente del terreno. La limitación de la altura y el acompañamiento de la pendiente propician una densidad media y dan continuidad a la topografía del paisaje natural (Architectural Standards/Hillside Committee, 2004). Europa permite de 6 a 12 m para viviendas unifamiliares y 12 m para viviendas plurifamiliares (Ayuntamiento de Cenes de la Vega, 2008).

Elevar la altura aumenta la rugosidad térmica y mecánica del borde de la ciudad, incrementando el espesor de la capa límite, disminuyendo la penetración de los vientos nocturnos que bajan frescos desde la montaña hacia la ciudad. La solución óptima resultará de preservar la infiltración de suelo sin alterar mucho los perfiles de viento en la periferia de la ciudad. El desafío es mayor dadas las dimensiones mínimas de lotes (200 m²) en los emprendimientos de iniciativa estatal. Una excesiva restricción del FOS y FOT prácticamente impediría satisfacer las necesidades habitacionales de familias con más de cuatro integrantes. En lotes de mínimas dimensiones para preservar la permeabilidad del suelo, la única alternativa posible es restringir el FOS dando mayor libertad al FOT. Aumentar la superficie mínima de lote permitida traerá como consecuencia la dispersión del área urbanizada en el piedemonte y sus problemas asociados al tendido de la infraestructura de servicios.

. Retiro mínimo: La ley establece retiros de 4 m sobre el frente del lote y 1/3 de la altura del edificio en los demás lados, no pudiendo ser inferior a 3 m. La dimensión del lote y el frente no deben ser menores a 500 m² y 14 m respectivamente. Norteamérica regula los retiros de la edificación respecto a la línea de frente de lote y los límites laterales, entre 4,50 m y 7,50 m, no permitiendo construcciones adosadas, propiciando un modelo de desarrollo del tipo abierto (Architectural Standards/Hillside Committee, 2004). Europa no regula retiros frontales y laterales, fortaleciendo el concepto de ciudad compacta y continua (Ayuntamiento de Cenes de la Vega, 2008). En Mendoza, la ley establece lotes no menores a 500 m² y la mayoría de los barrios de iniciativa pública presentan lotes de 200 m² y los retiros varían según el diseño de esos emprendimientos.

Conclusiones

El presente trabajo realiza un análisis crítico de diferentes modelos de desarrollo urbano en áreas de piedemonte del AMM y su grado de ajuste con los criterios contemplados por la Legislación a nivel local (normativa vigente desde el año 1983) e internacional. Los resultados muestran que las urbanizaciones en el piedemonte replican el modelo de la llanura: Traza urbana del tipo racional, en damero y configuración espacial del tipo abierto. El esquema resultante es contradictorio respecto a los objetivos de la ley: Preservar las características naturales del terreno y la implantación de servicios acompañando la topografía natural del sitio.

El único esquema analizado que incorpora criterios propuestos por la normativa es el BS, anterior a la creación de las leyes de ordenamiento del piedemonte. En relación a la ocupación de suelo, si bien los porcentajes de ocupación de Mendoza y Norteamérica son similares, varían las dimensiones de los terrenos. La legislación norteamericana es muy restrictiva en relación al crecimiento urbano en

áreas de pendientes pronunciadas (permite construir hasta una pendiente de 35%) lo que da como resultado terrenos de grandes dimensiones con una baja ocupación. En Mendoza los terrenos son pequeños y su ocupación no depende de la pendiente, dando como resultado una ocupación homogénea. Tampoco hay control de las modificaciones de las viviendas, lo que ocasiona un crecimiento desmedido y una mayor impermeabilización en detrimento de las condiciones climáticas, térmicas y aluvionales. La normativa local es ambigua, busca preservar el medio ambiente sin especificar acciones o instrumentos para lograrlo. A partir de este análisis, resulta urgente definir acciones concretas a seguir para reducir los efectos nocivos de la urbanización en el piedemonte con el fin de lograr un mejoramiento en la calidad del hábitat del Área Metropolitana de Mendoza.

Aclaración: Todas las figuras que aparecen en el trabajo han sido elaboradas por los autores

Bibliografía

- Abraham E. (1990). Proyecto : Planificación y ordenamiento ambiental del piedemonte al oeste de la ciudad de Mendoza. IADIZA. Gobierno de Mendoza. 213p.
- Agencia Provincia de Ordenamiento Territorial (2009). Ley 8051/09. Ley de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo. Provincia de Mendoza. Argentina
- Architectural Standards/Hillside Committee: . (2004). Hillside Development Standards and Guidelines. 2015, de Town of Los Gatos, California, EE.UU. Sitio web: <http://www.losgatosca.gov>
- Ayuntamiento de Cenes de la Vega. (2008). Normas Urbanísticas. 2015, de Ayuntamiento de Cenes de la Vega, Granada, España Sitio web: <http://www.cenesdelavega.es>
- Cantón, M.A., Mesa, A., de Rosa. (2004). Análisis de los modelos de desarrollo del arbolado urbano como estrategia de control de la radiación solar en la estación cálida. II Reunión Binacional de Ecología. Simposio Ecología Urbana. Mendoza, Argentina.
- City of Boise Planning & Development Services. (2010). Hillside New Residential Guide. 2015, de City of Boise, Idaho, EE.UU. Sitio web: <http://pds.cityofboise.org>
- Council of Mesa. (2010). Desert Uplands Area Design Guidelines. 2015, de Mesa Council, Arizon, EE.UU. Sitio web: <http://mesaaz.gov>
- Council of the City of Scottsdale. (1977). Ordinance of the Council of the City of Scottsdale, Maricopa County, Arizona, Relating to Zoning, establishing the Hillside district classification. Ordinance of the Council of the City of Scottsdale, Maricopa County, Arizona, Relating to Zoning, establishing the Hillside district classification , de 2015 Sitio web: <http://www.scottsdaleaz.gov>
- Departamento de Urbanismo. (2004). Plan General de Ordenación Urbanística. 2015, de Ayuntamiento de Viznar, Granada, España Sitio web: <http://www.ayuntamientodeviznar.com>
- Department of Planning. (2006). Las Vegas Zoning Code. 2015, de Las Vegas City, EE.UU. Sitio web: <http://old.lasvegasnevada.gov>
- Giovani B. (1998). Climate considerations in building and urban design. John Wiley & Sons, INC. New York. P -241.
- Junta de Andalucía. (2009). Plan General de Ordenación Urbanística. 2015, de Ayuntamiento de Albolote, Granada, España Sitio web: <http://www.albolote.org>

- M. Oleón. (2009). Adaptación Pacial de las Normas Urbanísticas de Peligros. 2015, de Ayuntamiento de Peligros, Granada, España Sitio web: <http://www.ayuntamientopeligros.es>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo (1983). Ley 4886/83. Disposición del suelo en zona oeste del Gran Mendoza. Provincia de Mendoza. Argentina
- Peña Fernández F. & Salcedo J.M.. (2007). Plan General de Ordenación Urbanística. 2015, de Ayuntamiento de Orce, Granada, España Sitio web: <http://www.orce.es>
- Phoenix Council. (2014). Guidelines for Design Review . 2015, de City of Phoenix, Arizona, EE. UU. Sitio web: <http://www.codepublishing.com>
- Planning and Development Services. (2005). Land Use Code - Zone Division. 2015, de City of Tucson, EE.UU. Sitio web: <http://www.tucsonaz.gov>
- Planning Commission, Architectural Review Commission . (1995). Hillside Development Guidelines. 2014, de City of Folsom Sitio web: <https://www.folsom.ca.us>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (1991). Ley 5804: conservación de sistema ecológico, Mendoza. Argentina. 2015
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (1995) Decreto 1077/95. (1995). Provincia de Mendoza. Argentina.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (1996). Decreto 1939/96. Provincia de Mendoza. 2015.
- Senior Planner at the Henderson City Department of Community Development.. (2001). City of Henderson Hillside Overlay Zone. 2015, de City of Henderson:<http://www.cityofhenderson.com>
- Town of Cave Creek - Planning and Zoning. (2007). Technical Design Guidelines-Grading and Drainage. 2015, de Town of Cave Creek, Arizona, EE.UU. Sitio web: <http://www.cavecreek.org>
- Yuma County Department of Development Services. (2006). Yuma County Zoning Ordinance. 2015, de Yuma County, Arizona, EE.UU. Sitio web: <http://kofako-op.com>

Autores

Ana Laura Castillo es Arquitecta, becaria doctoral de CONICET. Erica Correa es Ingeniera Química, Doctora en Ciencias - Área Energías Renovables, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en UTN-FRM. Alicia Cantón es Arquitecta, DAE en Arquitectura, Investigadora Independiente de CONICET y Profesora en FAUD-Universidad de Mendoza.

Puntos de ruido en San Miguel de Tucumán, investigación, evaluación y recomendaciones

Beatriz Garzón¹, Elisa Soldati², Leonardo Paterlini¹, Natalia Cerasuolo²

Resumen

Este trabajo tiene como propósito la adecuación acústica del microcentro de San Miguel de Tucumán, ya que en él se vive en un constante estado de ruido. Los objetivos de este trabajo son identificar y analizar la contaminación acústica y realizar recomendaciones a la comunidad y al Municipio e Instituciones pertinentes; implementando una estrategia metodológica de Investigación-Acción Participativa. Los resultados alcanzados son: el estudio de diversos puntos de ruido; la evaluación del modo en qué esto afecta a las personas; la elaboración de una serie de recomendaciones para usuarios, Municipios e Instituciones; la generación de material para la concienciación sobre la problemática; la difusión y transferencia de resultados. Se concluye que el microcentro de Tucumán se encuentra bajo una clara polución acústica, generando daños y afecciones en la población. La falta de conocimiento y poca difusión del tema en la sociedad hace urgente la necesidad de crear conciencia al respecto.

Palabras clave: Hábitat Sustentable; Acústica Urbana; Paisaje Sonoro; Recomendaciones.

Soundscapes in San Miguel de Tucumán, Argentina: research and transfer for awarness

Abstract

This paper aims acoustic adequacy of downtown San Miguel de Tucuman, because in it people lives in a constant state of noise. The objectives of this study were to identify and analyze noise and make recommendations to the community and the municipality and institutions; implementing a methodological strategy of Participatory Action Research. The results achieved are: the study of noise points; assessing how this affects people; developing a series of recommendations to users, municipalities and institutions; material for generating awareness of the problem; dissemination and transfer of results. It is concluded that the downtown of Tucuman is under a clear noise pollution

¹ FAU-SCAIT, UNT – CONICET, MInCyT

² FAU-SCAIT, UNT

damage and creating bad conditions for the population. The lack of knowledge and awareness in society makes urgent the need to create awareness.

Keywords: Sustainable Habitat; Urban acoustics; Soundscape; Recommendations.

Introducción

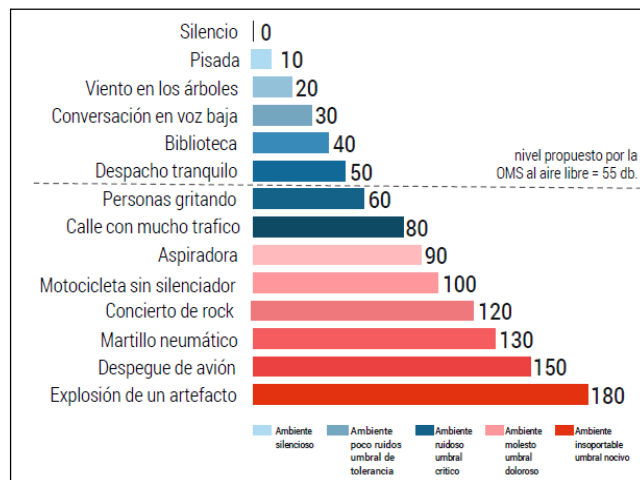
El *paisaje sonoro* se define como un ambiente acústico o un ambiente creado por el sonido. Este puede referirse a entornos naturales o urbanos reales. Cuando el exceso de sonido altera las condiciones normales del ambiente en una determinada zona, genera contaminación acústica, produciendo efectos negativos sobre la salud auditiva, física y mental de los seres vivos. Se llama contaminación acústica o contaminación sonora al exceso de sonido que altera las condiciones normales del ambiente en una determinada zona.

La *contaminación por ruido* es un problema mundial característico de las sociedades industriales modernas. Debido al aumento poblacional así como al desarrollo del uso de maquinaria y tecnologías que han llevado a nuestra sociedad al nivel de progreso y modernismo del cual disfrutamos hoy, paralelamente éste contaminante invisible se ha instalado y se incrementa en forma permanente, por lo que las generaciones futuras podrían experimentar la degradación de su ambiente social y su calidad de vida.

Actualmente la contaminación sonora se ha convertido en un problema para la salud. Es por ello, que la industria ha aumentado sus esfuerzos para disminuir la emisión de ruido en fuentes específicas. Una opción para facilitar esta determinación de ruido en dichas fuentes, es localizando el punto de dicha fuente donde se genera mayor cantidad de energía sonora.

Los especialistas afirman que la cantidad de ruido en la ciudad ha aumentado en los últimos años y que las consecuencias no sólo se reflejan en el oído, sino fundamentalmente en el cambio de conducta de las personas. Se puede decir que hay dos situaciones que generan un ambiente ruidoso: una es inevitable, generada por las fábricas, las máquinas de construcción o el transporte; y la otra es intencional, producida por los escapes libres de los autos y motos, los bocinazos y la música a alto volumen. El problema actual es que la mayoría del ruido excesivo que se escucha en las calles es intencional.

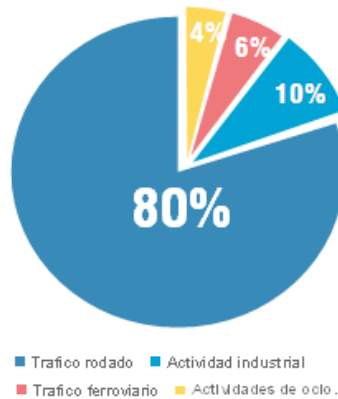
Figura 1. Escala de valores acústicos en decibeles.



Fuente: Grafico elaborado por el autor.

Las Fuentes que emiten ruidos pueden clasificarse como fuentes de exteriores y de interiores, clasificándose según sea el agente que las causa y la forma en que se transmite. Las fuentes principales de ruido urbano son tránsito automotor, ferroviario y aéreo, la construcción y obras públicas y el vecindario. La organización mundial de la salud (OMS) afirma que el 76% de la población que vive en los grandes centros urbanos, sufre de un impacto acústico muy superior al recomendable, y esto se refleja en su calidad de vida.

Figura 2. Porcentajes de emisión de ruido



Fuente: Gráfico elaborado por el autor según datos establecidos por la ONS.

Esta problemática se ve inserta en la provincia de Tucumán, el crecimiento acelerado y el fenómeno de urbanización que se ha producido en la población en los últimos años ha fomentado la contaminación acústica en los distintos paisajes que lo conforman.

La Provincia de Tucumán se encuentra en la región NOA de la República Argentina, punto estratégico geográfico de conexión del norte con el centro del país. Su economía está muy ligada a la producción industrial.

Cuenta con la Universidad Nacional de Tucumán, que es la universidad pública más importante de la región. La misma, funciona como polo de atracción a estudiantes e investigadores, etc. Estos factores, y otros, hacen que Tucumán se sitúe como ciudad cabecera de Región. La población según los datos del Censo 2010 es casi de 1.500.000 habitantes, siendo un 77% población urbana. La misma es generadora en gran medida de polución de diferentes índoles, convirtiéndose en productora de gran parte de la contaminación ambiental urbana.

Figura 3. Mapa de Tucumán. Mapa de San Miguel Tucumán.



Fuente: Imágenes obtenida de Google Maps.

El centro de San Miguel de Tucumán es caótico, ya que en el mismo se concentran las instituciones en torno a la “Plaza Independencia” (plaza central) y todo el comercio bancario a lo largo de la calle San Martín (que corre de Este a Oeste). Las calles de ronda (fundacionales) General Paz, Sáenz Peña, Santiago y Avenida Salta, toman gran volumen del tránsito vehicular que sale desde el microcentro (casco fundacional).

El factor del tránsito y su constante crecimiento, falta de una regulación al respecto y poca inversión privada y estatal en el servicio público de transporte de pasajeros hace de éste el factor principal de producción de contaminación acústica en la ciudad.

Figura 4. Tránsito vehicular en el centro de San Miguel de Tucumán



Fuente: Imágenes obtenidas del periódico “LA GACETA”.

El problema del ruido en San Miguel de Tucumán es conocido, ha sido tratado y denunciado numerosas veces en publicaciones en los diarios de tirada provincial más importantes. *“El ruido ocupa un lugar en el espacio sonoro de la ciudad. Basta permanecer un rato en las horas pico en la calle Santiago del Estero, entre Laprida y 25 de Mayo, o en Crisóstomo Álvarez, entre Chacabuco y Entre Ríos, para comprobar la polución sonora, que padecemos como si fuera natural”* (La Gaceta, 2015). Existen en la actualidad normativas vigentes en la provincia, pero no son aplicadas como deberían o ni siquiera son de público conocimiento.

Objetivo General:

Considerando los antecedentes sobre el alto grado de contaminación sonora que presenta la ciudad y la necesidad de resolver esta problemática, se busca identificar y analizar puntos de ruido en San Miguel de Tucumán, para detectar el nivel de contaminación acústica, e informar y realizar recomendaciones a la comunidad y al municipio e instituciones pertinentes, para establecer medidas de concienciación y compromiso en la población.

Objetivos Específicos:

Identificar cuáles son los puntos urbanos de la ciudad de San Miguel de Tucumán que tienen problemas de ruido, teniendo en cuenta aquellos puntos de la ciudad conocidos por la experiencia de usuario que son polos de polución acústica.

Investigar dichos lugares y clasificarlos según el conocimiento en la temática existente; determinar cuáles son aquellos ruidos que están produciendo la polución acústica y realizar una clasificación de las áreas en estudio, según tipos de ruidos y rangos de intensidad a la que están siendo sometidas.

Relevar dichos sectores con instrumental apropiado acústico (sonómetro).

Analizar los resultados obtenidos en los diferentes sectores de muestreo, en los paisajes seleccionados.

Analizar y generar diferentes métodos para la transferencia de los mismos, Implementando medidas de control y concientización en las poblaciones que habitan estos paisajes.

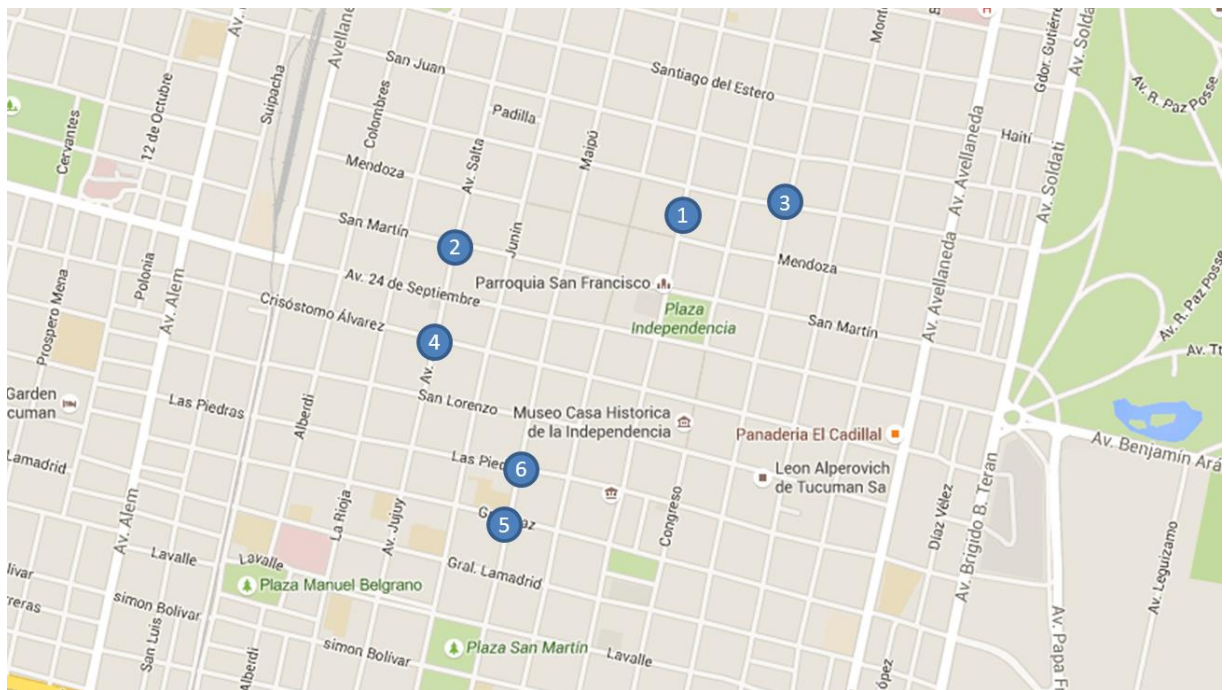
Metodología

A partir de este acercamiento a la situación de la ciudad, se realizan diferentes lecturas, además de la propia experiencia como usuarios, se establecen focos de contaminación acústica y se los clasifica según su potencial producción de ruido, teniendo en cuenta su ubicación, cantidad de tránsito, y otros factores que pudieran producir ruido en tales puntos.

A) Sectores seleccionados para su análisis:

- 1. Calle 25 de Mayo entre Córdoba y Mendoza** (calle 25 de Mayo corre en sentido Norte a Sur, es la más importante en lo que respecta a la actividad comercial)
- 2. Esq. Calles Salta y San Martín** (calle Salta, corre de Norte a Sur, es una de las arterias que toma gran volumen de tránsito vehicular en horario comercial).
- 3. Esq. Calles Córdoba y Rivadavia** (calle Córdoba lleva gran parte del tránsito de transporte público además de ser una arteria conectora de la ciudad en sentido Este a Oeste)
- 4. Esq. Calles Crisóstomo Alvarez y Jujuy** (calle Crisóstomo {Alvarez corre en sentido Oeste a Este, y se caracteriza por el gran número de colectivos que transitan por ella).
- 5. Esq. Calles General Paz y Chacabuco** (calle General Paz corre en sentido Oeste a Este, y toma gran volumen del tránsito vehicular).
- 6. Esq. Calles Chacabuco y Las Piedras** (se caracteriza por la concentración de bares, drugstores, y kioscos que generan gran circulación peatonal como vehicular.)

Figura 5. Mapa San Miguel de Tucumán, Zona Céntrica, con sectores a analizar



Fuente: Imágenes elaboradas por el autor

B) Protocolo de medición

Al tratarse de una medición con cierto grado de subjetividad se decide realizar previamente a los ensayos un protocolo de medición que será el que le dé cierto marco de especificidad y rigurosidad a las mediciones. Las mismas serán realizadas en ámbitos urbanos, haciendo un relevamiento con sonómetro, además de fotográfico y de video.

Las pautas decididas a tomar son:

1. Las mediciones serán siempre hechas por la misma persona, utilizando un sonómetro que no guarda en su memoria las diferentes mediciones. Otro sujeto será quien vaya tomando nota de las distintas mediciones y de los eventos que producen los picos de decibelios en el aparato.
2. Todas las mediciones se realizarán el mismo día. El mismo deberá ser un día de normal uso de la ciudad (día hábil) entre las 9 y las 13 horas.
3. Las mediciones se realizarán en mano del operador, respetando una altura de 1.60 metros respecto del nivel de vereda, y a una distancia de 2 metros de la calle. En los casos de esquina, será en diagonal a la misma.
4. Cada medición tendrá una duración de 10 minutos.
5. La lectura del medidor sonoro se realizarán en compensación A en respuesta S (lenta) para mediciones promedio en un intervalo de tiempo de 2 minutos, y en respuesta MAX HOLD para mediciones de ruidos muy altos en un intervalo de tiempo de 5 minutos.

Figura 6. Sonómetro. Protocolo de Medición



Fuente: Imágenes elaboradas por el autor

Resultados

Las mediciones se realizaron en la ciudad de San Miguel de Tucumán entre los meses de abril y septiembre de 2015.

Las siguientes mediciones corresponden a los 6 sectores elegidos, por ser los más relevantes en intensidad y frecuencia de ruidos:

Tabla 1. Calle 25 de Mayo entre Córdoba y Mendoza

| Planilla de Medición 1: 25 de Mayo entre Córdoba y Mendoza | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Fecha | Horario | | Trasporto | | Peatones | Respuestas | | |
| | Inicio | Fin. | Vehicular | Trasporto Publico | Flujo Peatonal | Respuesta Slow | Respuesta Max Hold | |
| | | | alto/medio/bajo | Frecuencia | | | | alto/medio/bajo |
| | | | | alta/media/baja | | | | |
| 06/04/2015 | 10:35 | 10:45 | alto | alta | alta | 69,9 dB | 86,9 dB | |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Figura 7. Sector Calle 25 de Mayo entre Córdoba y Mendoza. Medición de los ruidos en la misma.



Fuente: Imágenes capturadas por el autor.

Tabla 2. Calles Salta y San Martín

| Planilla de Medición 2: Esq. Calles Salta y San Martín | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Fecha | Horario | | Trasporto | | Peatones | Respuestas | | |
| | Inicio | Fin. | Vehicular | Trasporto Publico | Flujo Peatonal | Respuesta Slow | Respuesta Max Hold | |
| | | | alto/medio/bajo | Frecuencia | | | | alto/medio/bajo |
| | | | | alta/media/baja | | | | |
| 06/04/2015 | 11:18 | 11:28 | alto | alta | alta | 79,2 dB | 90,7 dB | |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Tabla 3. Calles Córdoba y Rivadavia

| Planilla de Medición 3: Esq. Calles Córdoba y Rivadavia | | | | | | | | |
|--|---------|------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Fecha | Horario | | Trasporto | | Peatones | Respuestas | | |
| | Inicio | Fin. | Vehicular | Trasporto Publico | Flujo Peatonal | Respuesta Slow | Respuesta Max Hold | |
| | | | alto/medio/bajo | Frecuencia | | | | alto/medio/bajo |
| | | | | alta/media/baja | | | | |
| 06/04/2015 | 9:40 | 9:50 | medio | medio | medio | 66,4dB | 87,6 dB | |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Tabla 4. Calles Crisóstomo Alvares y Jujuy

| Planilla de Medición 4: Esq. Calles Crisóstomo Alvares y Jujuy | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Fecha | Horario | | Trasporto | | Peatones | Respuestas | | |
| | Inicio | Fin. | Vehicular | Trasporto Publico | Flujo Peatonal | Respuesta Slow | Respuesta Max Hold | |
| | | | alto/medio/bajo | Frecuencia | | | | alto/medio/bajo |
| | | | | alta/media/baja | | | | |
| 28/09/2015 | 19:31 | 19:41 | medio | medio | medio | 74,1 dB | 89,5 dB | |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Tabla 5. Calles General Paz y Chacabuco

| Planilla de Medición 5: Esq. Calles General Paz y Chacabuco | | | | | | | |
|--|---------|-------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|--------------------|
| Fecha | Horario | | Trasporto | | Peatones | Respuestas | |
| | Inicio | Fin. | Vehicular | Trasporto Publico | Flujo Peatonal | Respuesta Slow | Respuesta Max Hold |
| | | | alto/medio/bajo | Frecuencia | alto/medio/bajo | | |
| | | | | alta/media/baja | | | |
| 28/09/2015 | 18:23 | 18:33 | alto | medio | alto | 88,6 dB | 91,5 dB |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Tabla 6. Calles Chacabuco y Las Piedras

| Planilla de Medición 6: Esq. Calles Chacabuco y Las Piedras | | | | | | | |
|--|---------|-------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|--------------------|
| Fecha | Horario | | Trasporto | | Peatones | Respuestas | |
| | Inicio | Fin. | Vehicular | Trasporto Publico | Flujo Peatonal | Respuesta Slow | Respuesta Max Hold |
| | | | alto/medio/bajo | Frecuencia | alto/medio/bajo | | |
| | | | | alta/media/baja | | | |
| 28/09/2015 | 19:03 | 19:13 | alto | bajo | alta | 76,5 dB | 88,3 dB |

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Figura 8. Calles Chacabuco y Las Piedras



Fuente: Imágenes capturadas por el autor.

Causas

Se puede apreciar que gran parte del sonido producido en los distintos puntos estudiados pueden ser generado por diferentes fuentes sonoras, como ser: bullicio, bocinazos, escapes de motos, sirenas de ambulancia, sirenas de policía, alarmas de emergencia, frenadas de colectivos, etc. Sin embargo la contaminación sonora tiene como protagonista principal a las vías de circulación rápida, éstas debido a su aspecto físico (angostas y con problemas de mantenimiento debido al gran tránsito al que están sometidas) y disposición de masas (edificios) reflejan el ruido generando así espacios totalmente descontrolados acústicamente, con embotellamientos y concentración vehicular en horas pico, volviéndose a su vez intransitables para el peatón.

Consecuencias

A partir de los resultados alcanzados con las mediciones de cada sector, podemos decir que la ciudad está sometida durante los días de normal funcionamiento a niveles sonoros que son perjudiciales para la salud de las personas. Los ruidos urbanos generados son casi en su totalidad por el tránsito de

vehículos, privados, públicos o de transporte público. Como se mencionó anteriormente existen normativas y reglamentaciones en la ciudad, pero no son aplicadas en tales casos como los del tránsito.

Repercusiones en la Salud

Los especialistas provinciales afirman que la cantidad de ruido en la ciudad ha aumentado en los últimos años y que las consecuencias no sólo se reflejan en el oído, sino fundamentalmente en el cambio de conducta de las personas.

Las mediciones acústicas indican que, en horario pico, el centro de San Miguel de Tucumán soporta sonidos de entre 90 y 100 dB, cuando los valores establecidos por la OMS (Organización mundial de la Salud) establecen que el valor óptimo para un nivel de confort acústico es de 55 dB, teniendo en cuenta que después de los 65 dB el ruido es dañino, lo que nos indica que la metrópolis es muy agresiva para el oído humano.

Figura 9: Tabla con efectos en la salud

| IMPACTOS QUE PRODUCEN LOS RUIDOS EN LA SALUD | | | |
|--|---|--|--|
| Desiveles | Entre 70 y 80 | Entre 80 y 90 | Mayores a 90 |
| Efectos | Otros efectos | Pérdida temporal de audición | Pérdida permanente de audición |
| Problemas en la salud | Problemas de salud crónicos: La exposición al ruido durante mucho tiempo disminuye la coordinación y la concentración, el ruido aumenta la tensión, genera trastornos cardíacos, estomacales y nerviosos. El ruido es una de las causas de las enfermedades cardíacas y las úlceras de estómago. También puede causar nerviosismo, insomnio y fatiga. | Al cabo de breve tiempo en un lugar de trabajo ruidoso a veces se nota que no se puede oír muy bien y que le zumban a uno los oídos. El zumbido y la sensación de sordera desaparecen normalmente al cabo de poco tiempo de estar alejado del ruido. Ahora bien, cuanto más tiempo se esté expuesto al ruido, más tiempo tarda el sentido del oído en volver a ser "normal". | Con el paso del tiempo, después de haber estado expuesto a un ruido excesivo durante demasiado tiempo, los oídos no se recuperan y la pérdida de audición pasa a ser permanente. La pérdida permanente de audición no tiene cura. Este tipo de lesión del sentido del oído puede deberse a una exposición prolongada a ruido elevado o, en algunos casos, a exposiciones breves a ruidos elevadísimos. |

Fuente: Grafico elaborado por el autor.

Propuestas

A) Soluciones

La contaminación acústica es un problema que podemos mejorar entre todos (instituciones, administraciones y sociedad) contribuyendo a reducir los niveles de ruido aplicando las normas y ordenanzas vigentes, y creando otras complementarias que se hagan cumplir.

Para poder lograr disminuir los niveles de contaminación, es imprescindible generar una buena concientización de la sociedad sobre los problemas que el ruido puede causar, generando recomendaciones tanto para los individuos como para el municipio.

B) Recomendaciones

- **Para individuos:** ayudar a la comunidad a estar en silencio.
- No tocar la bocina innecesariamente, solo cuando sea absolutamente necesario: para informarle a alguien que estás presente o para advertirle si está a punto de chocar con algo.

- Mantener el auto bien reparado, con silenciador para evitar ruidos molestos en las vías de circulación.
- Respetar las horas de silencio por la noche.
- **Para el Municipio:** brindar una mejor calidad de vida a la sociedad disminuyendo la contaminación acústica.
- Proteger a la población del ruido urbano y considerarlo como parte integral de su
- Política de protección ambiental, mediante el cumplimiento de las normativas vigentes.
- Implementar planes de acción con objetivos de corto, mediano y largo plazo para reducir los niveles de ruido. Por ejemplo: el reordenamiento del tránsito para una circulación vehicular más fluida, el ensanchamiento de calles y la incorporación de mayor arbolado en espacios públicos.
- Adoptar las “Guías de salud” para generar conciencia en la población disminuyendo el ruido urbano como metas de largo plazo.
- Generar medios y herramientas de concientización para la sociedad (folletos, cartillas, videos, talleres, charlas, etc.)
- Incluir el ruido como un tema de salud pública importante en la evaluación del impacto ambiental.
- Adecuar la legislación vigente para reducir los niveles de ruido.
- Aplicar la normativa existente. Ejemplo, Normas Iram número 4044 1998; Ordenanza 288/78: Ruidos molestos; Ordenanza 2547 97: Ruidos y sonidos innecesarios.

Los municipios deben elaborar planes de reducción de ruidos.

- Evaluar la efectividad de los cambios propuestos a corto y largo plazo en función de los costos. Los análisis de costo-beneficio se deben considerar como instrumentos potenciales de las decisiones gerenciales importantes.
- Apoyar proyectos de investigación dirigidos a la búsqueda de problemas sonoros en las distintas áreas del Gran San Miguel de Tucumán, con el fin de detectar el nivel de contaminación acústica e informar y realizar recomendaciones a la comunidad y a los municipios e instituciones pertinentes.
- Generar líneas de investigación con posibles soluciones en los centros urbanos.

Conclusión

1. A diferencia de otros problemas ambientales, la contaminación acústica sigue en aumento y produce un número cada vez mayor de reclamos por parte de la población. Ese incremento no es sostenible debido a las consecuencias adversas, tanto directas como acumulativas, que tiene sobre la salud, que afectara a las generaciones futuras con repercusiones socioculturales, estéticas y económicas.
2. Las mediciones acústicas indican que, en horario pico, el centro de San Miguel de Tucumán soporta sonidos de entre 90 y 100 dB, teniendo en cuenta que después de los 65 dB el ruido es dañino, la metrópolis es muy agresiva para el oído humano. Ruido de bocinas, motores, música y gritos configuran el entorno de quien recorre las calles de la ciudad. Parece que en la sociedad actual hacer ruido es un derecho, y soportarlo una obligación.
3. Existe un alto desconocimiento de la población al respecto de los problemas que puede traer aparejado el exceso de ruido en la vida cotidiana. Por esta razón es necesario, como primera medida

que cada individuo tome conciencia de producir un cambio en sus hábitos de comportamiento, los cuales generan en menor o mayor medida contaminación acústica en su medio ambiente. Como segunda medida es necesario que las leyes que se encuentran en vigencia se las hagan cumplir y se las respete, y para los casos en los que no se posea una ley específica, se deberá crearla y hacerla cumplir para el bienestar colectivo de toda la sociedad.

Referencias y Bibliografía

10 cosas que deberías saber sobre la contaminación acústica

<http://www.fundacionmelior.org/content/tema/10-cosas-que-deberias-saber-sobre-la-contaminacion-acustica> (acceso 22/10/2015)

Archivo “La Gaceta” – “La contaminación Sonora pone agresiva a las personas” – Tucumán, Argentina - 14 de febrero de 2007.

Declaración de la AMM sobre la Contaminación Acústica

<http://www.wma.net/es/30publications/10policies/n3/> (acceso 24/10/2015)

Efectos de la contaminación acústica en la salud

<http://ecodes.org/noticias/efectos-de-la-contaminacion-acustica-sobre-la-salud#.VjKJq9Ivdkg> (acceso 19/10/2015)

Municipalidad de San Miguel de Tucumán. La ciudad. Información básica.

http://www.sanmigueldetucuman.gov.ar/ciudad_1.php (acceso 19/10/2015)

Plan estratégico urbano Territorial para la Ciudad de San Miguel de Tucumán SMT2016 – Municipalidad de San Miguel de Tucumán, 2010.

Paisajes Sonoros en San Miguel de Tucumán, Argentina: Investigación y Transferencia para su concienciación. Garzón, B., Soldati, E., Paterlini, L., Perera, S., Rufino, M., Orellana, M., Ponce, F. 46° Congreso Español de Acústica. Tecniacústica. Valencia. 2015.

Autores

Beatriz Silvia Garzón, Arquitecta. Doctora en Ciencias. Directora de Proyectos de Investigación Acción Participativa y de Extensión. Profesora Adjunta de la Cátedra de Acondicionamiento ambiental II, FAU, UNT. Profesora Adjunta, Autora y Responsable de la “Electiva Sonido y Hábitat”. Investigadora Adjunta de la CIC del CONICET. Investigadora Nivel II del MinCyT. Especialista en Gerencia y Vinculación Tecnológica de la Une, UNT. bgarzon@gmail.com.

María Elisa Soldati, Arquitecta. Especialista en Investigación Educativa, FAU, UNT. Auxiliar docente graduado con semi dedicación, en la Asignatura Acondicionamiento Ambiental II. arquielisa@yahoo.com.ar.

Leonardo Paterlini, Arquitecto. Becario Conicet “Beca Doctoral Tipo 1”. Doctorando en el posgrado de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura Planeamiento y Diseño de la Universidad Nacional de Rosario. Seminarista en la Cátedra de Taller Arquitectónico Interdisciplinario, FAU, UNT. Seminarista en la Cátedra de Acondicionamiento Ambiental II, FAU, UNT. Colaborador en la materia “Electiva Sonido y Hábitat”, FAU, UNT. Músico. paterlinileonardo@gmail.com

Natalia Cerasuolo. Estudiante de séptimo año de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, FAU, UNT. Becaria CIN (Consejo Interuniversitario Nacional). Colaboradora en la materia “Electiva Sonido y Hábitat”. naticerasuolo@gmail.com.

17. Educación y formación en sustentabilidad

**Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo:
Iniciativas del CPAU en la Ciudad de Buenos Aires**
**Sustainability in Architecture & Urbanism:
CPAU initiatives in the City of Buenos Aires**

Julian M. Evans^{1,2}, Daniel Kozak^{1,2}, Andrés Schwarz^{1,2}, Javier Pisano (coordinador)²

Resumen

La iniciativa internacional en Edificación Sustentable, es parte de un movimiento amplio a nivel mundial, en pleno desarrollo a nivel regional, tendiente a reducir los impactos del hábitat construido en general y de los edificios en particular, en favor de un entorno construido más sustentable. El presente trabajo tiene por fin analizar los resultados logrados por la iniciativa del CPAU, Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo de la Ciudad de Buenos Aires, al realizar estudios de Sustentabilidad en Arquitectura, claro indicador de la creciente preocupación por los impactos de la edificación al ambiente, y la necesidad de preparar a los profesionales para responder al desafío de cambio. A través de una serie de 3 publicaciones, Sustentabilidad I, II y III, se explicitan los resultados cuyas conclusiones rescatan los aspectos positivos de las iniciativas estudiadas y el potencial de desarrollo encontrado en el medio, así como las barreras y debilidades identificadas, para las cuales se proponen medidas y soluciones superadoras.

Palabras clave: edificación sustentable, arquitectura, urbanismo, normativas.

Abstract

International initiatives for Sustainable Building, is part of a worldwide movement in full development at regional level, to reduce the impacts of the built environment in general and buildings in particular, in order to achieve a more sustainable built environment. The object of this paper is to analyze the results of the CPAU initiative, the Architecture and Urbanism Professional Council of the City of Buenos Aires to carry out studies of sustainability in architecture, a clear indicator of the growing concern for the buildings environmental impacts and the need to prepare professionals with the capacity to respond to these changes. Through a series of three publications, Sustainability I, II and III, results are presented with conclusions, which emphasize positive aspects of the initiatives studied, local potential development found, as well as barriers and weaknesses identified, for which measures and possible solutions were proposed to overcome this challenge.

Keywords: sustainable building, architecture, urbanism, regulations.

¹ CIHE-FADU-UBA Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

² CPAU Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo.

Introducción

A pesar de los acuerdos internacionales alcanzados en Río de Janeiro, Kyoto y, más recientemente en Copenhagen, los impactos ambientales del hábitat edificado, 'de la piel para dentro de los edificios, y de la piel al ambiente', siguen en alza en la región. Las actuales corrientes arquitectónicas continúan alentando la utilización de grandes superficies vidriadas, tanto en usos comerciales como residenciales, sin cuidar los impactos producidos por la excesiva y descontrolada ganancia solar o la escasa atención a la elección de orientaciones favorables, fortaleciendo así la fuerte dependencia energética en el acondicionamiento artificial en verano y grandes pérdidas de calor en invierno.

En Argentina, los edificios demandan más del 34 % de la demanda energética, emiten 24 % de las emisiones GEI, Gases de Efecto Invernadero (Evans, 2006), utilizan gran cantidad de agua potable y producen alta proporción de desechos urbanos. Hasta 2016, las políticas gubernamentales mantenían bajos costos en la provisión de fuentes de energía convencional (petróleo, gas, electricidad), y subvenciones adicionales en las regiones más frías del país con alta demanda de energía. En Buenos Aires, la abundancia de agua potable contrasta con grandes áreas del país con escasez de agua, sumado a la presencia de contaminación por arsénico y otras sales. Por lo tanto, se esperan políticas de fomento e incentivos tendientes al uso racional de los recursos.

Metodología

El CPAU y su Comisión de Arquitectura buscan identificar medidas prácticas que puedan ser adoptadas para potenciar la sustentabilidad en la edificación y promover la aplicación de estas medidas en la práctica profesional e institucional. La incorporación de la temática ambiental en arquitectura y urbanismo en la Comisión de Arquitectura del CPAU, y su directa relación con el medio en el que se insertan los proyectos, responde a la preocupación de impulsar nuevos mecanismos que contribuyan a difundir estos conceptos entre los matriculados. Ello adquiere particular importancia a partir del colapso actual de las fuentes convencionales de energía, tanto a la generación como al transporte, distribución y uso, con respecto a la dependencia energética del hábitat construido, considerando que ello contribuye a un importante rango de inclusión social en la agenda pública.

En este contexto, y a partir de experiencias desarrolladas en otros medios donde se demuestra que los conceptos de sustentabilidad y eficiencia energética pueden ser traducidos en forma de indicadores a incorporar en marcos regulatorios locales, incentivando estas prácticas al común de las obras a realizar en la ciudad, se considera necesario que el CPAU, entidad que representa uno de los sectores profesionales de la industria de la construcción, pueda generar y formar opinión respecto a estos temas que, seguramente, serán desarrollados y potenciados en el medio institucional y político para ser incluidos al cuerpo normativo y la práctica profesional. Por lo tanto, es intención de dichos trabajos relevar las normas desarrolladas en otros medios, analizar los aspectos considerados prioritarios e identificar elementos comunes o divergentes, que conduzcan a la regionalización y permitan adecuarse al modo de producción local.

De esta manera, su inclusión dentro del marco legal que regula el ejercicio profesional y la industria de la construcción local, permitiría mantener el ritmo de producción de la actividad, evitando incidencias sobre los costos que tornen inviables los proyectos, conflictos de uso con las infraestructuras existentes o demandas de inversión, para la adecuación de las mismas, que terminan por transformarse en externalidades negativas del crecimiento urbano hacia la comunidad.

Sustentabilidad I

La primera publicación ‘Sustentabilidad en Arquitectura I: Compilación de antecedentes y revisión de manuales de buenas prácticas ambientales para obras de arquitectura, junto a indicadores de sustentabilidad y eficiencia energética’, Julian M. Evans, 2010, fue resultado de un trabajo de investigación encomendado por el CPAU en 2009, buscando colaborar con la Comisión de Arquitectura en el análisis de la temática y la difusión de sus aspectos al conjunto de la matrícula.

Se analizaron experiencias en países centrales, junto a casos regionales y locales, como base para la formulación de acciones formativas en el medio local. La investigación dió por resultado la revisión bibliográfica, compilación y análisis de casos internacionales y nacionales de Acciones de Manejo, Manuales de Buenas Prácticas, Reglamentaciones y Normativas, destinados a la producción de arquitectura que incorpore estrategias ambientales y criterios de Edificación Sustentable en forma integral y efectiva. El análisis de casos internacionales y nacionales permitió identificar normativas orientadas a la regulación edilicia y uso del suelo en áreas urbanas, que incluyan criterios e indicadores de eficiencia energética y sustentabilidad en arquitectura. La publicación fue estructurada en siete secciones, abarcando los diferentes campos de aplicación e implementación.

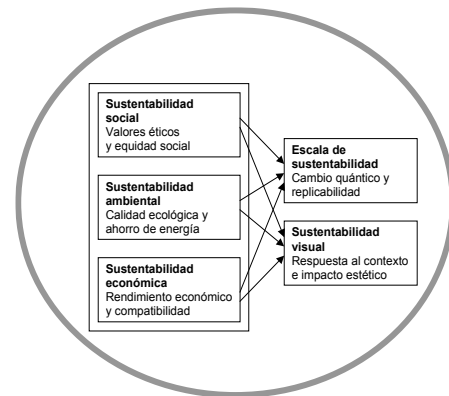
Como marco general, la **primera sección** analiza y expone los principios del Desarrollo Sustentable y Concepto y Definiciones de Sustentabilidad, desde el desarrollo y equilibrio de los pilares de sustentabilidad y la búsqueda de criterios innovadores que contribuyan a incorporar estrategias proyectuales y medidas de eficiencia energética, manifestadas a través de la expresión arquitectónica del proyecto, agregando un significado distintivo a su imagen y realización.

Figura 1. Pilares de la Construcción Sustentable.



Fuente: Figura realizada por el autor.

Figura 2. Criterio de Construcción Sustentable.



Fuente: Figura realizada por el autor.

La **segunda sección** desarrolla el análisis, descripción y comparación de normas internacionales de certificación de sustentabilidad en la construcción. Se incluyeron distintos sistemas de certificación, tales como: LEED, Leadership in Environment and Energy Design, del USGBC United States Green Building Council, Consejo de la Edificación Verde de Estados Unidos; BREEAM, British Research Establishment Environmental Assessment Method, Reino Unido; GBC, Green Building Challenge, originado en Canadá con orientación a la certificación regional; GREEN STAR, desarrollado e implementado en Australia y CASBEE en Japón. Se desarrollaron apreciaciones sobre el grado de regionalización propuesto por cada sistema de calificación y acreditación en su área de influencia, costos de procedimientos, aplicación y ‘vocación’ de tras-polación internacional de las mismas.

La **tercera sección** estudia el marco normativo en desarrollo en Latinoamérica, específicamente en Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica y México, y en Europa, particularmente en Gran Bretaña y España.

La **cuarta sección** formula una guía orientada a la difusión y acciones de capacitación, con la inclusión de conceptos de diseño y construcción sustentable. Es importante destacar la importancia del rol de Diseño como etapa fundamental en el proceso de lograr edificios sustentables. En esta etapa, extensible a todos los proyectos y no siempre valorada por regulaciones y sistemas de certificación, es donde mayor impulso tendrán los criterios de sustentabilidad, los que se deberán evaluar de modo de responder mejor a las condiciones que presente el entorno y evidenciar maneras de minimizar impactos con la aplicación de estrategias de diseño sustentable.

Tabla 2. Verificación de criterios sustentables según etapa desarrollo del proyecto

| ASPECTO | PLANIFICACIÓN | DISEÑO | DETALLES & ESPECIFICACIONES | CONSTRUCCIÓN | USO | DEMOLICIÓN O RECICLADO |
|------------------------------|---------------|--------|-----------------------------|--------------|-----|------------------------|
| TERRENO | X | | | | | |
| ENERGÍA | | X | X | X | X | |
| AGUA | | X | X | X | X | |
| MATERIALES | | X | X | X | | X |
| DEMOLICIÓN | | X | X | X | | X |
| UBICACIÓN | | X | X | | | |
| ACCESIBILIDAD | | X | X | | | |
| ACONDICIONAMIENTO NATURAL | | X | X | | X | |
| ACONDICIONAMIENTO ARTIFICIAL | | X | X | | X | |
| CALIDAD AMBIENTAL | | X | | | X | |
| CONSTRUCCIÓN | | X | X | X | | X |
| MATERIALES | | X | X | X | | |
| OCUPACIÓN POST CONSTRUCCIÓN | | | | X | X | |
| GESTIÓN DEL EDIFICIO | | | | | X | X |

Fuente: Figura realizada por el autor.

La **quinta sección** compendia Normas y Reglamentaciones Nacionales, vigentes en la actualidad.

La publicación se completó con dos secciones adicionales, incorporando un Glosario, fuentes de información y bibliografía, junto con una serie de encuestas de opinión a profesionales y funcionarios vinculados a la temática. Ello tuvo por fin relevar un mayor espectro de casos, opiniones sobre la problemática y acciones en desarrollo. Las encuestas se agruparon en tres grupos: especialistas, profesionales de la arquitectura y representantes de entidades o áreas de gobierno local. Esta iniciativa contó con la activa participación del cuerpo profesional, mostrando el reconocimiento de la responsabilidad del profesional en la búsqueda de un entorno edificado más sustentable. Ello marca cambios significativos en la actitud de las instituciones profesionales, que tienden a seguir rumbos ya documentados en países o regiones industrializadas de otros sectores de la región y del mundo (2).

Otro aspecto a destacar es la relación de las recomendaciones, estándares, códigos y marcos legales existentes a nivel nacional, regional y municipal, para analizar las iniciativas existentes y los limitados avances desarrollados hasta el momento. Se detallan conjuntamente los puntos específicos en el marco legal y profesional que necesitan ser mejorados y extendidos, en vez de tratar de aplicar criterios foráneos de difícil implementación, debido a los tiempos políticos y legales y a la resistencia de cambio en el sector, tanto profesional como institucional, de la práctica convencional.

La estructura legal de control de la edificación en Argentina se encuentra muy descentralizada, donde las municipalidades tienen la responsabilidad principal del desarrollo urbano y la regulación edilicia. Esto hace difícil la implementación obligatoria de medidas de sustentabilidad ya que ello requeriría la toma de decisión en más de 2.000 municipios a lo largo y ancho del país. El Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires juega un papel fundamental en este campo, al ser la comuna de mayor tamaño e influencia del país, con el potencial de marcar el camino en este proceso de transformación. El CPAU, como representante profesional en este distrito, se posiciona así correctamente para ejercer una influencia positiva e iniciar la promoción de cambios necesarios.

Medidas complementarias, como la certificación voluntaria de edificios sustentables, también requiere del fomento de cambio del mercado, basado en el contexto local, las necesidades del medio y los estándares locales, en vez de copiar estándares 'importados', donde, en general, estos sistemas de evaluación resultan inapropiados.

Es importante destacar la definición incluida recientemente en los Estándares de Edificación Sustentable del IRAM (2010), 'Mientras el desafío de la sostenibilidad es global, las estrategias de sostenibilidad en la edificación son locales y difieren en contexto y contenido de región a región'. (2)

Sustentabilidad II

La publicación 'Sustentabilidad II: Criterios y normativas para la promoción de sustentabilidad urbana en la CABA', Daniel Kozak, 2012, fue el resultado del trabajo de investigación del CPAU, con el objetivo de examinar el estado de la cuestión sobre la promoción de sustentabilidad urbana en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, y los avances en la implementación de normativas en ciudades seleccionadas a nivel nacional, regional e internacional.

La primera parte del libro discute diferentes criterios del concepto de sustentabilidad y explicita el modo en que se utiliza el término 'desarrollo sustentable' en el texto y la concurrencia de tres formas de equidad: inter-generacional, intra-generacional y trans-fronteras (Haughton y Hunter, 1994) como una forma de desarrollo ideal –a la que se debería tender– que no desplaza sus externalidades negativas en el tiempo, ni en el espacio social, ni en el espacio geográfico. Luego introduce el debate sobre la 'forma urbana sustentable' (Acioly, 2000; Burgess, 2000), particularmente en su faceta 'ciudad compacta vs. ciudad dispersa' (Newman y Kenworthy, 1989), y presenta especificidades de la sustentabilidad en arquitectura urbana, cuyas cuestiones particulares se examinan a continuación.

La **segunda sección** analiza detalladamente las nuevas normativas y proyectos de ley en la CABA, y los aspectos que condicionan la aplicación de prácticas que favorezcan la sustentabilidad urbana de acuerdo a una serie de categorías que incluyen: energía en edificios, eficiencia en el uso del agua, impacto sobre el entorno, materiales, calidad de aire, la etapa de construcción y la gestión.

La **tercera sección** está dedicada al análisis de normativas nacionales, examinando en primer lugar la Ley 13.059 de Provincia de Buenos Aires, y explicitando las Normas IRAM involucradas. Ya que esta ley es referencia directa en el proyecto de Ley 'Normas de eficiencia energética en la construcción de

edificios' (Expte. 2.056-2010) de la CABA –al momento de redacción del libro, en tratamiento para su sanción definitiva– se sostiene que su elucidación es crucial para el tema de este trabajo. El análisis incluye ejemplos ilustrativos de la implementación de las Normas IRAM que componen la Ley 13.059 y el Proyecto de Ley 2.056, aplicadas en el Área Metropolitana de Buenos Aires. Esta sección analiza también el caso de la Ordenanza 8.757 de la Ciudad de Rosario, aprobada en 2011 y actualmente en proceso de reglamentación, y muy brevemente se presenta la reciente incorporación del Artículo 1.2.4.7 en el Código de Planeamiento Urbano de San Isidro.

La **cuarta sección** examina normativas y regulaciones en varias ciudades de la región que se encuentran en un estadio más avanzado en la discusión e implementación de medidas en esta temática, incluyendo Montevideo, San Pablo, Santiago de Chile, Bogotá y el Distrito Federal de México. Por último, incluye una reseña de algunas leyes ambientales del Estado de California, EEUU, uno de los marcos legislativos más exigentes del mundo, utilizado repetidas veces como modelo para la elaboración de normas equivalentes en numerosas ciudades.

La **quinta sección** presenta dos cuadros que sintetizan el estado de la cuestión en las ciudades analizadas y en la CABA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Finalmente, las conclusiones del trabajo rescatan aspectos positivos en las normativas e iniciativas estudiadas, así como problemas potenciales y debilidades que requieren soluciones superadoras. En particular se destaca la escasa existencia de medidas de incentivo y gradualidad de implementación, que existen en otras ciudades estudiadas de la región. El libro concluye con cierto optimismo a partir de las nuevas leyes e iniciativas relevadas para la CABA con el objetivo de reducir el consumo energético, promover el confort bioambiental, disminuir los niveles de contaminación ambiental, y avanzar en el camino del desarrollo sustentable. Sin embargo, a partir del análisis sistemático de estas iniciativas, leyes recientemente aprobadas y proyectos de ley en tratamiento, se detectaron escasos avances en el estudio particularizado de medidas con mayor especificidad para la CABA.

Se nota gran atomización de propuestas de nuevas leyes, descoordinadas entre sí, poco claras para los profesionales de la construcción, tomadas de otras jurisdicciones sin haber sido ajustadas para los requerimientos específicos de la CABA. Tampoco se encontraron avances significativos en la implementación de incentivos, ni estrategias de gradualidad en la aplicación de nuevas normativas – como ya ha sido implementado en otras ciudades. Inclusive, medidas sin costo para el Estado local, como por ejemplo, implementar sistemas de trámites abreviados para obras nuevas que acrediten la ejecución de estrategias de eficiencia energética –en vigencia en numerosas ciudades del mundo– llamativamente no habían sido siquiera considerados. Dados los tiempos extensos para trámites de aprobación de obras en el GCBA, medidas de estas características tendrían muy buena aceptación.

Se comparte el criterio de comenzar por regular y promover la construcción de envolventes edilicias más eficientes. En el caso específico de la sustentabilidad en arquitectura urbana, se considera prioritario y más importante mejorar la eficiencia en el consumo de energía de los edificios, que su generación in situ. En este sentido, es fundamental la aislación térmica en la envolvente edilicia y su falta de visibilidad en el 'producto final' inmobiliario vuelve a este componente de los edificios una variable muy vulnerable si no está debidamente legislada. Por este motivo se considera oportuno iniciativas como la Ordenanza 8.757 de la Ciudad de Rosario, la Ley 13.059 de la Provincia de Buenos Aires y, consecuentemente, el proyecto de Ley 'Normas de eficiencia energética en la construcción de edificios' (Proyecto de Ley 2.056-2010) para la CABA –cuyo contenido es en gran medida similar– adelantos importantes en esta materia.

Si bien se comparte la fundamentación y los conceptos principales de este proyecto de ley, se considera objetable su falta de claridad y especificidad, y la ausencia de propuestas de implementación gradual y mecanismos de incentivo. Los canales más apropiados para la incorporación de nuevos requerimientos para los edificios de la CABA son los Códigos de Planeamiento Urbano y Edificación. Es necesario unificar criterios y procurar la coordinación de las nuevas medidas. Por otro lado, también es preciso actualizar regulaciones anteriores –por ejemplo, en términos de excepciones de alturas máximas y coeficientes de edificabilidad permitidos– que actualmente impiden o dificultan la consecución de algunas de las estrategias revisadas en este trabajo. La redacción de nuevos capítulos en los Códigos de la ciudad podría representar una excelente oportunidad para avanzar sobre la promoción de la sustentabilidad urbana en forma compatibilizada con todos los elementos que hacen a la complejidad de la producción de ciudad.

Sustentabilidad en Arquitectura III

La publicación ‘Sustentabilidad en Arquitectura III: Análisis y Compilación de las 100 mejores prácticas de sustentabilidad y procedimientos de implementación en obra’, Andrés Schwarz, 2015, fue el resultado de un trabajo de investigación, encomendado por el CPAU, reuniendo las mejores prácticas empleadas al momento de implementar la construcción de obras de arquitectura. El propósito subyacente del trabajo es brindar una herramienta metodológica para que los arquitectos puedan incorporar estrategias de cuidado del ambiente particularmente en la gestión de obra.

A tal fin, el trabajo se basa en la investigación y recopilación de las mejores prácticas constructivas en culturas similares a la nuestra. Se revisaron documentos de trabajo de Colombia, España, Estados Unidos y Argentina. En este último caso, se recurrió a fuentes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), la Municipalidad de Rosario y la Fundación UOCRA. En todos los casos, tanto nacionales como internacionales, se verificaron prácticas y recomendaciones comunes a las de la presente obra, lo cual la sitúa en línea con las mejores prácticas que se desarrollan en distintos ámbitos de la construcción. Además se analizó la legislación local vigente a la fecha del cierre de la edición del documento (Mayo de 2015).

La publicación se estructura en base a un listado de 100 prácticas, acompañada de anexos de pliegos modelos para conformar pliegos de condiciones técnicas particulares, abarcando un pliego de prácticas ambientales en obra, un modelo de plan de manejo de calidad de aire y un procedimiento para manejo de residuos en obra.

Asimismo, se ha agregado un capítulo de indicadores, definidos como variables para medir u objetivar las operaciones en la construcción, con el objetivo de saber cuántos elementos cumplen una determinada condición, o una magnitud en relación a otra, o bien tener un parámetro de consumo. Por ejemplo, metros cúbicos de plástico reciclado en relación metros cúbicos de residuos plásticos, potencia instalada (W) sobre superficie cubierta (m²) o consumo de litros de agua por artefacto sanitario (por ejemplo, 3 y 6 litros de agua en inodoros de doble accionamiento).

El profesional encontrará también un compendio de la legislación aplicable en la materia, en la CABA, complementado con leyes nacionales y provinciales, por la sinergia que se genera entre ellas. Las 100 mejores prácticas fueron organizadas en grupos temáticos, atendiendo a los principales focos. Así, las estrategias se dividen en Gestión del terreno, Gestión del agua, Gestión de los residuos, Gestión de la obra, Gestión de calidad del aire, Gestión de los materiales y Gestión de relaciones con la comunidad.

En cada práctica, se señala el responsable de aplicarla y supervisarla. Además, se atiende la escala de obra más apropiada: obras de menos de 200 m²; de 200 a 1.000 m²; de 1.000 a 5.000 m²; y más de 5.000 m². Finalmente, se identifican los rubros alcanzados por la práctica (movimiento de suelos, hormigón, albañilería, instalación sanitaria, etc.). En la clasificación también se agrega la etapa de aplicación de la estrategia: anteproyecto, proyecto, proyecto ejecutivo o ejecución de la obra.

La clasificación de los ejemplos de prácticas sustentables fueron detallados según su aplicación:

- Gestión del terreno: acopio diferenciado de escombros; bateas para el traspaso de hormigón; protección de taludes; trampa de sedimentos al ingreso de la obra.
- Gestión del agua: filtrado de agua de achique; protección de cursos de agua; instalar dispositivos de ahorro; recolección de agua de lluvia; mantener un registro del consumo de agua en obra.
- Gestión de los residuos: identificación de recicladores; señalización; designación de cuadrillas de limpieza; exhibición de hojas de seguridad; reutilización de escombros para rellenos.
- Gestión de obra: charla de cinco minutos al comienzo de la jornada; análisis de costos asociados al manejo ambiental; mantener un registro del consumo de energía en obra.
- Gestión de calidad de aire: designar lugares de corte; separar ambientes con generación de polvo; señalar el apagado de motores; humedecer superficies que generen polvo.
- Gestión de relaciones con la comunidad: identificar zonas y actividades con ruido; establecer días y horarios de descarga; plan de comunicación de gestión ambiental; presentación de indicadores.

El trabajo se completa con el aporte de distintos profesionales que brindaron su punto de vista sobre la aplicación de prácticas sustentables en obra. Más de 20 profesionales del medio local, académicos, jefes de obra, directores de obra y paisajistas, licenciados en higiene y seguridad, y constructores, han dado testimonio de la posibilidad de aplicar buenas prácticas. Sin embargo, de este relevamiento surge que el desafío mayor no es económico ni técnico, sino que radica en el medio cultural, requiriendo capacitación y aplicación de las prácticas a lo largo de todo el desarrollo de la obra.

Resultados

La iniciativa, interés y dirección del Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo de las encomiendas, estudios y publicaciones de 'Sustentabilidad en Arquitectura I, II y III' es un claro indicador del creciente interés de los impactos de la edificación en el entorno y la necesidad de preparar a los profesionales para responder a dicho cambio. Los trabajos fueron presentados en el Auditorio del CPAU ante más de 40 profesionales cada vez, y en el sitio web de la institución, alcanzando a la totalidad de la matrícula. Asimismo, se han compilado para realizar publicaciones a fin de difundir las recomendaciones a la currícula. Estos estudios cubren los principios y prácticas de sustentabilidad en arquitectura y urbanismo con ejemplos de Norte América, Europa y Latinoamérica, así como en el medio local, con propuestas de recomendaciones de prácticas sustentables, relacionados a estándares, leyes y códigos existentes.

Esta iniciativa, encomendada por el cuerpo profesional en Buenos Aires, necesita ser complementada por una serie de acciones de otras organizaciones, como los nuevos estándares a nivel nacional que se encuentran en desarrollo, cursos de extensión universitaria que contribuyan a capacitar, actualizar y entrenar a los profesionales actuales y futuros ante las innovaciones en legislación edilicia, como también la actualización de los códigos de los ámbitos municipales. La iniciativa internacional en Edificación Sustentable (Sustainable Building) es parte de un movimiento amplio a nivel mundial y en pleno desarrollo a nivel regional, tendiente a reducir los impactos del hábitat construido en general y de los edificios en particular, en favor de un entorno construido más sustentable.

Bibliografía

- Acioly, C. (2000) *Can Urban Management Deliver the Sustainable City? Guided Densification in Brazil versus Informal Compactness in Egypt*, en Jenks, M. y Burgess, R., editores, *Compact cities: sustainable urban forms for developing countries*. E. & F.N. Spon, Londres.
- American National Standard Institute, American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers, USGBC & Illuminating Engineering Society (2009), *Standard 189.1-2009 for the Design of High-Performance Green Buildings, Except Low-Rise*, ANSI, ASHRAE, USGBC & IES, Washington.
- Angel, S. et al. (2005) *The Dynamics of Global Urban Expansion*, Transport and Urban Development Department, The World Bank, Washington.
- Burgess, R. (2000) *The Compact City Debate: A Global Perspective*, en Jenks, M. y Burgess, R., editors, *Compact cities: sustainable urban forms for developing countries*. E. & F.N. Spon, London.
- De Schiller, S. y Evans, J. M. (2010) *Desarrollo y sustentabilidad del hábitat construído*. SUMMA+ 108.
- Diaz, M. (2009), *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para obras en construcción*, Aulas y Andamios Editora; Red Social UOCRA; Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, Buenos Aires.
- Diaz, M., Rosenfeld, A. y otros. (2011), *La Casa Sustentable*, Aulas y Andamios Editora, Buenos Aires.
- Evans, J. M. y de Schiller, S. (1994) *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, 2da Edición, Ediciones Previas, EUDEBA, Buenos Aires.
- Evans, John Martin (2004), *Clean development mechanism for building: potential in different climatic regions of Argentina*, en Proceedings, Built Environments and Environmental Buildings, PLEA Passive & Low Energy Architecture, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.
- Facio Lince Prada, M., González Valencia, A. (2010), *Manual de Gestión Socio-Ambiental para Obras de Construcción*, Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Haughton, G. y Hunter, C. (1994) *Sustainable cities*. Regional Studies Association, Londres.
- IRAM (1996) *Norma IRAM 11.603:1996, Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentina de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- IRAM (2012), *Norma IRAM 21931-1 Construcción sostenible. Marco de referencia para los métodos de evaluación del desempeño ambiental de las obras de construcción. Parte 1 - Edificios*, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- IRAM (2014), *Norma IRAM 21929-1: Construcción sostenible. Indicadores de sostenibilidad. Parte 1 - Marco para el desarrollo de indicadores y de un conjunto fundamental de indicadores para edificios*, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, y Ministerio de Medio Ambiente, *Manual de buenas prácticas ambientales en la familia profesional: edificación y obras públicas*, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, y Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Murillo, F. (2000), *"Mejores Prácticas" de Producción de Hábitat Social*, Programa de Asistencia Técnica a Municipios, UBACyT JA08, SI-FADU-UBA, Buenos Aires.
- Newman, P. W. G. y Kenworthy, J. R. (1989) *Cities and automobile dependence: a sourcebook*, Gower, Aldershot.

Olgay, V. (1998) *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona.

Porta, A. (2011), *Manual Nacional para Inspectores Ambientales*, Programa Naciones Unidas para el Desarrollo, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Argentina, Buenos Aires

Rosenfeld, A., Scafati, A. (2008), *La Industria de la Construcción y el Ambiente*, Cámara Argentina de la Construcción, Buenos Aires.

UN (1987) *Report of the World Commission on Environment and Development*. Disponible en: <http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>

United States Green Building Council. (2009), *LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction for the Design, Construction and Major Renovations of Commercial and Institutional Buildings*, United States Green Building Council, Washington D. C.

Autores

Julian Martin Evans es arquitecto FADU-UBA (2005). Especialista en desarrollo de diseño bioambiental y arquitectura sustentable. Investigador del CIHE, Centro de Investigación Hábitat y Energía, SI-FADU-UBA, participó del Proyecto NuevaTec-FADU, 2001-2003, e integró el Proyecto de Investigación UBACyT 'Arquitectura Sustentable Urbana'. Docente FADU-UBA en las materias Introducción al Diseño Bioambiental e Introducción a la Arquitectura Solar. Se desempeña como Jefe de Proyectos de Corporación América, desarrollando y liderando proyectos de gran complejidad en el exterior. Miembro del Comité de Acondicionamiento Térmico de IRAM.

Daniel Kozak es arquitecto, graduado con Medalla CPAU y Diploma de Honor, FADU-UBA (2001). PhD, Oxford Brookes University (2009). Investigador CONICET del Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR-CONICET). Profesor Adjunto del Centro de Investigación Hábitat y Energía (CIHE-SI-FADU-UBA). Affiliate Associate Professor, Washington University in St. Louis (WUSTL). Co-autor de proyectos construidos con características sustentables, como la Estación de Biosfera Yabotí en Misiones, el Centro de Interpretación de la Reserva Natural Cañadón del Duraznillo en Santa Cruz y el edificio de viviendas Araoz 1459 en la CABA.

Andrés Schwarz es arquitecto, graduado en FADU-UBA (1996). Diplomado en Facility Management (Universidad Austral). Tesista de la Maestría Interdisciplinaria en Energía (CEARE-UBA). Columnista en el sitio de divulgación "Energía Estratégica". Revisor Pro del United States Green Building Council (USGBC). LEED-AP: BD+C. Profesor de Posgrado en las Universidades de Palermo y Belgrano, y de Maestría en el Instituto Tecnológico Buenos Aires (ITBA). Co-autor de normas IRAM. Co-autor del libro "Sustentabilidad en Real Estate" (CEDU- Ediciones BRE).

Evaluación de Sustentabilidad del Hábitat Residencial Articulando Enfoques "Morfológico y Bioclimático"

Ana Maria Compagnoni¹, Irma Soledad Abades², Carla Cecilia Serafini³

Resumen

El presente trabajo expone avances correspondientes a un proyecto de investigación en curso, articulado a una experiencia inter-cátedras. Se plantea como objetivo indagar y reflexionar acerca del desempeño ambiental de diversas tipologías morfológicas de conjuntos residenciales, localizados en medios consolidados de regiones bioclimáticas diversas. La casuística contempla conjuntos recientemente proyectados, con requerimientos programáticos de escala intermedia, que evidencian valores morfosintácticos y permiten evaluar su respuesta al contexto específico, desde una dimensión bioclimática y sustentable. La metodología propuesta incluye momentos de abordaje investigativo, analítico, de evaluación y síntesis de resultados. Se profundiza el análisis morfológico en perspectiva sustentable desde la escala de conjunto hasta las unidades habitacionales, permitiendo establecer comparaciones en el desempeño de las unidades entre sí y la respuesta del conjunto al contexto ambiental de localización. La propuesta está orientada a desarrollar herramientas conceptuales transferibles a procesos de enseñanza de la arquitectura integrando al abordaje morfológico la mirada sustentable.

Palabras clave: Articulación disciplinar; Desempeño Bioclimático; Tipologías Residenciales.

Sustainability Assessment in Habitat Residential Articulating "Morphologic and Bioclimatic" Approaches

Abstract

This paper presents advances corresponding to a current research project, articulated with an inter-discipline experience. The objective is to investigate and reflect on the environmental performance of various morphological types of residential complexes, located in consolidated urban contexts of different bioclimatic regions of Argentina. The casuistry contemplates complexes recently projected, with programmatic requirements of intermediate scale, which show morphosyntactic values and

¹ Directora del Proyecto de Investigación del Centro de Altos Estudios en Arquitectura y Urbanismo CAEAU de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Abierta Interamericana.

² Codirectora del Proyecto de Investigación antes citado

³ Investigadora integrante de Proyecto de Investigación antes citado

<http://www.uai.edu.ar/CAEAU/investigacion/area-arquitectura-y-ciudad/>

allow to assess their response to the particular context, from a bioclimatic and sustainable dimension. The proposed methodology includes moments of analytical, evaluation and synthesis of results. It goes deep in morphological analysis from sustainable perspective, allowing comparisons on the performance of the residential units to each other and the answer of the complexes to the environmental context of location. The proposal is aimed at developing conceptual tools transferable to processes of architectural education integrating the morphological analysis with sustainability approach.

Keywords: Disciplinary articulating; Bioclimatic performance; Residential typologies.

1. Introducción

A lo largo de la historia de la enseñanza de la arquitectura se pueden constatar momentos, en la práctica del taller de proyecto, tendientes a la integración de conocimientos tecnológicos, formales, funcionales y expresivos a los fines de dar soluciones a los problemas del habitar. Sin embargo, durante las últimas décadas del siglo XX, la enseñanza del proyecto fue escindiéndose cada vez más de los contenidos de otras asignaturas y la aplicación de nociones de tecnología y morfología respondieron meramente a voluntades estéticas o estructurales, perdiendo su sentido de adecuación al contexto y su potencial aporte a la sustentabilidad de la propuesta arquitectónica.

Desde comienzos del presente siglo, las nuevas exigencias de acreditación de las carreras de arquitectura pusieron en debate los planes de estudio para la enseñanza de las prácticas proyectuales y las nuevas propuestas se orientaron a la articulación de contenidos entre asignaturas así como a la vinculación entre investigación y docencia. Esta tendencia promueve prácticas educativas innovadoras, que permiten desarrollar experiencias de investigación inter-cátedras a partir de pruebas piloto integradoras de conocimientos, transferibles luego al proceso proyectual.

En este contexto, la propuesta de la presente investigación surge de la necesidad de incluir en espacios de enseñanza universitaria, momentos de análisis y reflexión articulando conceptos de morfología arquitectónica con criterios de ahorro y eficiencia en el uso de los recursos, adaptados a un contexto específico y poniendo de manifiesto la necesidad de vincular el contenido conceptual de las prácticas educativas con el habitar humano, en el marco del paradigma sustentable. A nivel procedimental, en ambas asignaturas el aula-taller se convierte en un laboratorio de exploración, conceptualización, reflexión y articulación de conceptos morfosintácticos con criterios medioambientales en conjuntos residenciales localizados en contextos con significativas diferencias bioclimáticas.

El mencionado enlace inter-cátedras tiende a promover la construcción de un nuevo marco conceptual (el estudio y demostración de la incidencia de aspectos morfosintácticos en el desempeño socio ambiental de conjuntos residenciales) y fundamentalmente promueve la transferencia de los conocimientos adquiridos a la enseñanza del diseño arquitectónico, promoviendo el diseño de espacios inter-edilicios diversos, significantes y ambientalmente sustentables, orientados a la construcción de ciudades más inclusivas.

Existen antecedentes de investigaciones que tienden a establecer conexiones entre decisiones morfológico-proyectuales de conjunto y unidad, con las respectivas respuestas bioclimáticas y sus niveles de eficiencia energética. En este sentido, para esta experiencia se tomó como antecedente tanto los avances realizados por la cátedra de Ambiente y Arquitectura en recientes investigaciones

de cátedra (Compagnoni, 2013) y (Compagnoni y Serafini, 2012) así como el trabajo de Irene Blasco (Blasco, 2004-07) para la estructuración del análisis morfológico de conjunto en base a la Teoría General de Sistemas (TGS), a fin de estudiar los componentes de dicho conjunto desglosándolo en los sistemas que lo componen para ser ponderados desde criterios específicos orientados a evaluar su desempeño bioclimático.

2. Objetivo

El objetivo general de la investigación que da marco a este trabajo, en el ámbito de las cátedras de Ambiente y Arquitectura y de Morfología, se focaliza en evaluar, desde la dimensión bioclimática, comportamientos morfosintácticos de conjuntos residenciales de escala intermedia a partir de un proceso analítico reflexivo sobre los efectos que estas morfologías producen en términos habitativos en los espacios de uso. El interés de la búsqueda reside en analizar, evaluar y categorizar tipologías morfológicas en conjuntos residenciales localizados en zonas con diferencias climáticas así como de sus correspondientes células que los componen.

La Cátedra de Morfología, con el objetivo de capacitar al alumno en el análisis y producción de morfologías contextuales y arquitectónicas construye un marco conceptual donde incluye el análisis, la clasificación y el ordenamiento de tipologías morfológicas habitativas bajo una mirada crítico-reflexiva frente a la materialización del espacio de habitar.

La Cátedra de Ambiente y Arquitectura busca promover una práctica profesional más consciente y la producción de un hábitat humano más sostenible, desarrollando en el estudiante la capacidad de investigación y la profundización de conocimientos específicos de la problemática ambiental. Se procura incorporar un marco conceptual y aplicar metodologías propias del operar interdisciplinario que permitan al alumno transferir a la práctica criterios eco-proyectuales en diferentes escalas.

La propuesta didáctica inter-cátedras se orienta a desarrollar herramientas conceptuales transferibles a procesos de enseñanza de la arquitectura. El mencionado enlace académico expone como recurso procedimental la consideración del ámbito áulico como espacio de exploración y formación para operar reflexivamente sobre la enseñanza de ambas disciplinas. El presente trabajo, como vínculo de una investigación teórico-práctica en curso con el quehacer propio de ambas cátedras, busca la articulación del proceso investigativo con las prácticas de enseñanza educativa en el ámbito universitario y su posterior transferencia a procesos de proyectación.

3. Metodología

Dicha articulación académica, requiere de una planificación previa, donde se considera la organización de contenidos y actividades tendientes a construir una constelación de conceptos que permitan al alumno reconocer los posibles modos de constitución y transformación de la forma arquitectónica y su respuesta al contexto específico, desde una dimensión bioclimática y sustentable. Se predeterminan los recursos didácticos a emplear, el enfoque pedagógico de enlace dentro del espacio temporal establecido por la estructura curricular y finalmente se diseñan los criterios e instrumentos didácticos que permitirán la evaluación de aprendizajes y resultados. La estructura mencionada plantea que el alumno analice y reflexione sobre la casuística dada, detectando

atributos, ventajas y desventajas tanto morfosintácticas como perceptuales en relación con las condiciones medioambientales del contexto de situación.

Para el desarrollo de la propuesta de indagación se plantearon tres etapas diferenciadas:

A. Etapa Investigativa:

A.1. Recopilación, Selección de Casos de Estudio y Búsqueda de Datos del Contexto.

Teniendo en cuenta la limitada variedad tipológica en conjuntos habitacionales de producción estatal, el universo a analizar quedó acotado a conjuntos residenciales de construcción reciente ya sean de gestión privada o estatal, que presentan cierto desarrollo morfológico en la búsqueda de mejorar las condiciones de habitabilidad y que permiten verificar relaciones entre espacios privados y comunes, así como la búsqueda en la integración con el contexto urbano inmediato. La selección de casos se orienta hacia aquellos construidos o proyectados en zonas con evidentes diferencias bioclimáticas, que permitan evaluar el ajuste de los proyectos al entorno específico, tanto desde la mirada morfológica como desde la bioclimática y sustentable.

El sondeo y selección de la casuística se orientó hacia conjuntos residenciales de escala intermedia que evidencian cierto desarrollo en su propuesta espacial, disposicional, tecnológico constructiva y contextual (inserción medioambiental, respuesta al medio físico, interacción interior-exterior) así como de las entidades que los componen y en su estructura general compositiva (características compositivas y morfogenéticas del conjunto) tendientes a optimizar las condiciones de habitabilidad en relación a diferentes contextos de implantación. Los conjuntos seleccionados se localizan en: Tucumán (Emprendimiento Urbano Lomas de Tafí en Tafí Viejo, 1er Premio Concurso Nacional de Ideas y Anteproyectos); Tandil (Conjunto Tandil. Mención en Premio Bienal CAPBA - 2007); Ushuaia (Conjunto del Instituto Provincial de la Vivienda); y Rosario (Complejo Barrancas del Buen Aire). (Figs. 1a, 1b, 1c, 1d)

Una vez identificados los casos a analizar, se procedió a la búsqueda de datos de contexto que permiten caracterizar las zonas de implantación según sus condiciones climáticas predominantes para lo cual se utilizaron los datos meteorológicos de las estaciones más cercanas a la localización de cada caso. Esta caracterización se instrumentó a partir de la interpretación de los gráficos representativos de variables climáticas y de los gráficos psicrométricos de confort.

Figuras 1a y 1b Conjuntos seleccionados para el análisis.



Conjunto Tucumán- Fuente:

<http://www.arquimaster.com.ar/galeria/obra119.htm>



Conjunto Tandil- Fuente: Revista del CAPBA- Consejo Superior N°02 Año 2008. Pag. 98.

Figuras 1c y 1d Conjuntos seleccionados para el análisis.



Conjunto Ushuaia-Fuente:

<http://www.cnvivienda.org.ar/revistas/revista41/tierra-del-fuego.pdf>



Conjunto Rosario- Fuente:

http://barrancadelbuenaire.com/el_complejo/

B. Etapa Analítica:

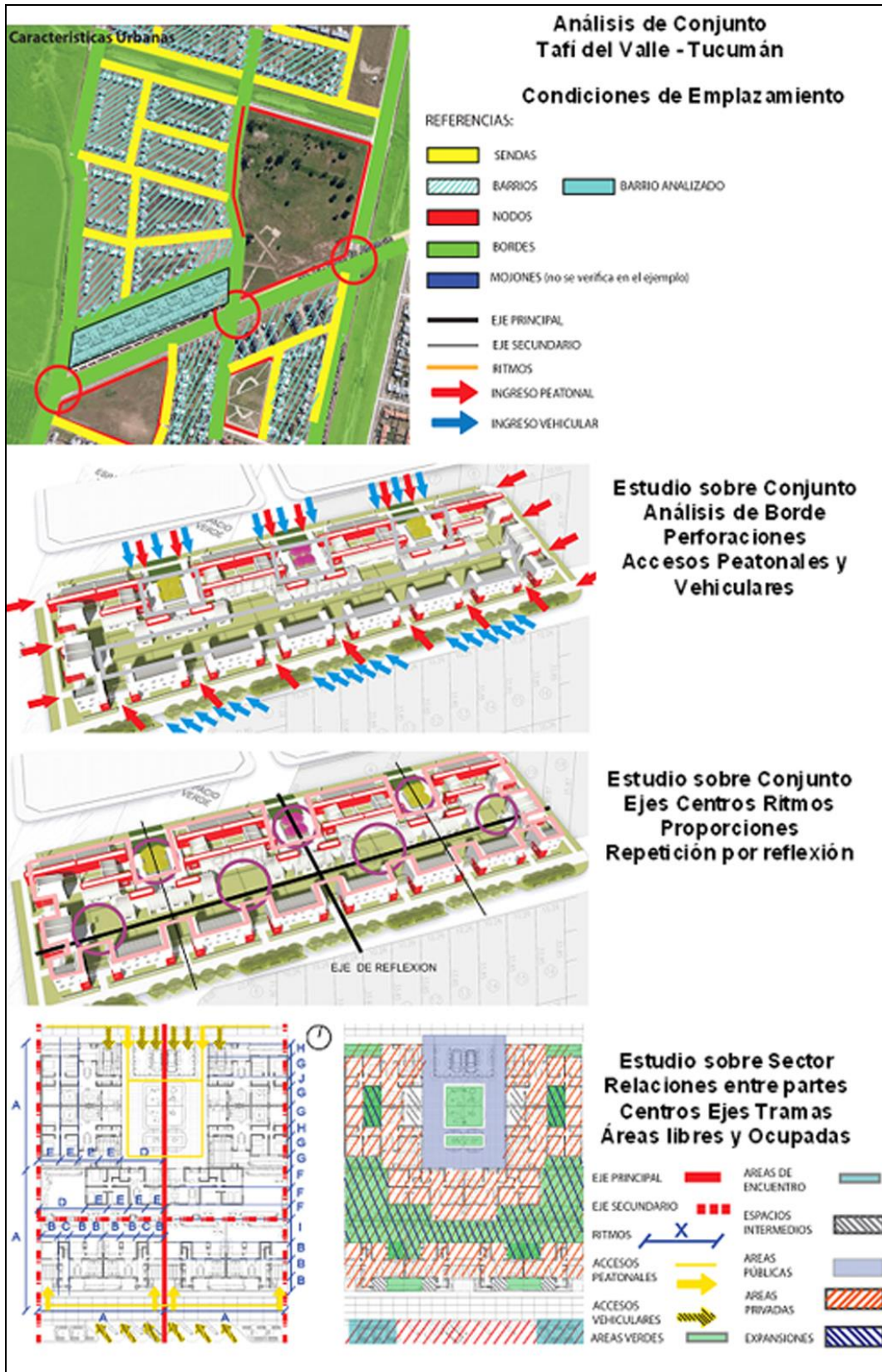
B.1. Análisis morfológico del conjunto y unidades

La etapa analítica se ordena en etapas de indagación y categorización de tipologías morfológicas de conjuntos residenciales, en cuanto a los modos de la distribución y el control del espacio habitativo en articulación con las condiciones del contexto, dentro de zonas de nuestro país con diferencias climáticas. El estudio del conjunto aborda la disposición geométrico-ordenadora de la totalidad y de las partes, las situaciones de ocupación, las condiciones de accesibilidad, el sistema conectivo, la constitución y sintaxis de borde, las relaciones de llenos y vacíos así como la presencia de espacios de diferente escala que permiten la construcción de vínculos sociales. En cuanto al estudio de las células habitativas, se utiliza como dispositivo de análisis el despiece en sus partes constituyentes significativas espaciales, posicionales, de limitación, de relación interior-exterior, de lenguaje y sintaxis, incluyendo la investigación de sus posibles modos generativos.

Para cada uno de estos conjuntos y desde la perspectiva morfosintáctica se evalúan: 1°- Los criterios de orden emergentes de las células habitativas: recorte espacial disposicional, características de la perimetración, lenguaje morfológico, sintaxis de partes, relaciones interiores-exteriores (espacios de articulación y gradientes de transición) 2° Con respecto al conjunto se estudia la estructura del tejido y su vinculación con el medio (respuesta al medio físico), el recorte volumétrico, las características del sistema conectante y las posibilidades de crecimiento futuro. (Fig.2)

El dispositivo de análisis morfológico empleado se basa en la modalidad de desarmar para estudiar las partes y sintaxis para luego rearmar y reflexionar sobre el significado de la totalidad y de las partes que lo componen.

Figura 2: Estudio Morfológico a escala de conjunto del caso Lomas del Taquí en Tucumán



Fuente Propia desarrollada en el marco de la cátedra de Morfología

B.2. Análisis de respuestas a las estrategias bioclimáticas

Una vez señaladas y verificadas las variables dentro del marco morfosintáctico, actividad realizada en el ámbito de la cátedra de Morfología, se procede a examinar y evaluar el desempeño bioclimático de la totalidad y de las partes que conforman el conjunto así como de las unidades y de la envolvente construida en las tipologías morfológicas seleccionadas, actividad que se desarrolla en el ámbito de la cátedra de Ambiente y Arquitectura.

El Enfoque Bioambiental comprende varias instancias, a saber: a) Interpretación de las condiciones bioclimáticas de las localizaciones específicas de los casos de estudio e identificación de las recomendaciones de diseño para cada clima. b) Análisis de la respuesta morfológica del conjunto a las condiciones del entorno, así como la evaluación de espacios verdes disponibles de uso privado, común y público (Cuadro 1) c) Análisis de la respuesta morfológica de las unidades habitativas a las condiciones del clima local. d) Análisis del grado de ajuste de la morfología y materialidad de la envolvente a las condicionantes del entorno, el uso de materiales, la tecnología y los recursos energéticos locales así como el lenguaje como expresión de la arquitectura regional.

Cuadro 1: Grilla de Análisis de Conjunto en relación a las Estrategias Bioclimáticas para el caso en Taí Viejo

| ESCALA DE CONJUNTO | | | | |
|--|---|---|--|--|
| ESTRATEGIAS: Se recomienda la inercia termica y la ventilacion selectiva para invierno y cruzada para Verano con sistemas solares pasivos / Se buscara generar estas condiciones en las tres escalas | | | | |
| SIST. | Sistemas Circulatorios | Sistema de Espacios Exteriores | Sistema Parcelario | Sistema Edificio |
| | Uso: Peatonales- Vehiculares Forma: Orgánica- Geométrica | Uso: Públicos- Semi públicos- Privados Forma: Regulares- Irregulares- Orgánicos | Dominio: propio - PH- Indiviso - Mixto- Otro | Bloques: tira- cajón- torre- aislado- Agrupación: Tira- Dúplex-Espejados- Otro |
| Orientaciones Favorables | Accesos Vehiculares (escasos) al N. Peatonales directos desde calles y patios sin considerar la orientación | Espacios publicos, semi-publicos y semi-privados orientados a las calles. Los patios hacia el centro de manzana | La parcela general con predominio longitudinal orientada al NO | La tira de duplex orientada al N y los bloques espejados orientados E y O. |
| Proporciones Espaciales | Proporciones rectangulares para unidades de PB y longitudinal en calle para los duplex | Con predominio longitudinal en eje E-O de mayor extension del terreno | Con tendencia rectangular, de agrupaciones mixtas. | Bloques compactos formando patios con equilibrio entre llenos y vacios . |
| Definición de Límites | Delimitados por al vegetacion y sendas peatonales o vehiculares | Delimitados por sistemas circulatorios y contenidos por el sistema edificio. | Medianeras bajas construidas con materiales tramados y vegetacion | El ordenamiento geométrico de las tipologias genera límites de circulacion ACCESOS |
| Uso del Suelo | Vehicular perimetral sobre las calles y peatonal atravesando la manzana. | Usos bien delimitados, cubiertos, semicubiertos y descubiertos de distintas escalas. | Parcelas propias acotadas y de pisadas similares sobre el terreno. | Viviendas Patio en PB y en duplex ocupando un 40% del suelo |
| Distribución de la Vegetación | Adosados a los sistemas circulatorios favorecen protección de viento y sol | De bajo porte y adosada a elementos constructivos (pérgolas, cercos, etc) como controladores del clima | Principalmente utilizadas como pantallas visuales entre parcelas | Se genera un mix entre edificación y vegetación en sistemas exteriores y edificios |

Fuente Propia en base a Grilla desarrollada en el marco de la Cátedra de Ambiente y Arquitectura

Desde este enfoque, se plantean tres escalas de análisis para las cuales se construyó un cuadro de doble entrada con las variables de interés para cada una: 1°- En la Escala de Conjunto se analizan los

sistemas componentes, clasificándolos según categorías de sistemas y observando en cada uno de ellos: orientación de la volumetría; proporciones espaciales; definición de los límites; uso del suelo; ubicación y distribución de la vegetación. (Fig.2) 2°- Para la Escala de las Unidades habitativas se analizan los diferentes tipos de espacios, según aspectos de: ubicación y orientación, proporciones espaciales; disposición de la cubierta; permeabilidad de envolvente y compacidad. 3°- Para la Escala de Envolvente constructiva se analizan los componentes del sistema constructivo; relación entre superficies opacas y transparentes; protecciones solares y nocturnas; materialidad; integración morfológica de sistemas solares.

Una vez abarcadas estas instancias analíticas, es posible detectar y establecer herramientas conceptuales provenientes de la dimensión bioclimática aplicadas a tipologías morfológicas en conjuntos residenciales de escala intermedia a los fines de categorizar y hacer transferencia de conceptos teóricos a concreciones arquitectónicas y a procesos proyectuales del hábitat residencial.

B.3 Análisis de asoleamiento y viento

Tanto en la escala de conjunto como en la escala de la unidad se realizan verificaciones de asoleamiento y ventilación natural en espacios exteriores propios y comunes así como en el interior de las unidades habitacionales, de acuerdo a los parámetros de confort para la zona. La apreciación de las condiciones de asoleamiento y viento sobre los distintos casos de estudio tomados de la realidad, se realizaron partiendo de la construcción de un Modelo 3D (Maqueta Digital) de cada caso para la práctica de simulaciones con Heliodón Virtual en diferentes horas del día y épocas del año del conjunto observado y registrando las visualizaciones en grillas especialmente diseñadas. Para la evaluación de condiciones de ventilación, se aplicaron cálculos de sombra de viento obtenidos por métodos gráficos, registrando las observaciones en planillas confeccionadas para tal fin.

C. Etapas de Evaluación

C.1. Cuantificación del desempeño espacial y ambiental

Para obtener resultados objetivos de las prácticas realizadas, se aplicó una evaluación cuantitativa a partir del completamiento de planillas de cálculo confeccionadas para la observación de los resultados de las simulaciones. A tal fin, se procedió a medir porcentajes de superficies afectadas por sol; sombra; y viento tanto como proyección sobre los espacios exteriores como sobre la envolvente edilicia. Tales valores son ingresados en la planilla, la cual automáticamente calcula proporciones respecto del total de la superficie analizada y permite obtener resultados cuantitativos que facilitan la evaluación de las tipologías de conjunto y unidades en relación a las estrategias bioclimáticas recomendables para el clima en cuestión.

Dichas planillas incorporan la evaluación de algunos índices relacionados con la sustentabilidad de conjuntos residenciales, que permiten establecer comparaciones tanto de aspectos de implantación como de diseño de la envolvente edilicia. Para la evaluación del conjunto se consideró el factor de ocupación del suelo; el tipo de coberturas, un índice de áreas verdes y tipos de especies que permiten evaluar coeficiente de permeabilidad CAS y potencial bioclimático de la vegetación (Fig.3). Para la evaluación de las unidades habitativas las planillas incorporan índices en cuanto a su compacidad; permeabilidad; potencialidad de ventilación y asoleamiento.

Se evalúan en ambas escalas las condiciones de asoleamiento y ventilación en invierno y verano, en relación a las condiciones deseables de confort y en función de los promedios de temperatura y

humedad relativa para días típicos de invierno y verano en esa localización. Esto permite establecer situaciones favorables y desfavorables tanto en el interior de las unidades como en los espacios exteriores del conjunto a partir del cálculo de horas de asoleamiento favorable o faltante en invierno como horas de protección solar favorable o faltante en verano, así como porcentajes de superficies expuestas o no a la ventilación en invierno y verano. Se expone a continuación la planilla utilizada para evaluar la escala de conjunto) de los casos estudiados. (Fig.3)

Figura 3: Planilla Base para la Evaluación del Desempeño Ambiental del Conjunto

| CLIMA | | CONJUNTO | Sist. Circulatorio | | Sist. Esp. Exteriores | | Espacio Público | |
|---|-----------------|--|--|----------------|-----------------------|-----------|-----------------|-----------|
| | | | Circ. Vehicul | Circ. Peatonal | Propios | Comunes | Veredas | Calles |
| | | Orientación Predominante | | | | | | |
| Suelo | Uso | Sup. Total del Terreno en m2 | | | | | | |
| | | Sup. Específica en m2 | | | | | | |
| | Características | FOS según sistema | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! |
| | | Superficie Pavimentada | | | | | | |
| | | Superficie Absorbente | | | | | | |
| | | CAS % de Suelo absorbente | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! |
| Verde | Proporción | Sup. Verde en m2 | | | | | | |
| | | Indice de Areas Verdes | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! |
| | | Sup. ocupada por vegetación | | | | | | |
| | Tipos | Sup con Arboles caducos | | | | | | |
| | | % de árboles caducos | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! |
| | | Sup. con arboles perennes | | | | | | |
| | | % de arboles perennes | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | |
| | | Sup. con arbustos y canteros | | | | | | |
| | | % de vegetación arbustiva | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! | #i DIV/0! |
| Sol | INV | Sup. Asoleada en invierno mediodía | | | | | | |
| | | Sup. Con sombras de vegetación al mediodía | | | | | | |
| | | Sup. Con sombras de edificios al mediodía | | | | | | |
| | | Sup. Con Sombras permanentes en invierno | | | | | | |
| | | Hs con Asoleamiento Favorable (temp -21°C) | | | | | | |
| | | | Hs de Asoleamiento Faltante y Necesario (temp -18°C) | | | | | |
| | VER | Sup. Protegida del sol en verano al mediodía | | | | | | |
| | | Sup. con sombras de edificios al mediodía | | | | | | |
| | | Sup. con sombras de vegetación al mediodía | | | | | | |
| | | Sup. Con Sol permanente en verano | | | | | | |
| Hs con Protección solar Eficiente (temp + 24°C) | | | | | | | | |
| | | Hs de Protección solar faltante y necesario (temp +28°C) | | | | | | |
| Viento | INV | Sup. Protegida del Viento en Invierno | | | | | | |
| | | Sup. Con sombras de viento por vegetación | | | | | | |
| | | Sup. Con sombras de viento por edificios | | | | | | |
| | | Sup con Protección de Viento Eficiente (temp -21°C) | | | | | | |
| | | Sup. de Protección de viento Necesaria (temp -18°C) | | | | | | |
| | VER | Sup. Expuesta al viento en Verano | | | | | | |
| | | Sup. Con sombras de viento por vegetación | | | | | | |
| | | Sup. Con sombras de viento por edificios | | | | | | |
| | | Sup. con Ventilación Favorable (temp +24°C) | | | | | | |
| | | Sup. Que requiere Ventilar (+ 28 °C) | | | | | | |

Fuente propia desarrollada por Compagnoni en el marco del trabajo de investigación de cátedra.

4. Síntesis de Resultados Parciales

Si bien la presente investigación aún está en curso, los resultados emergentes se orientan a señalar el complejo conjunto de relaciones y solicitudes entre las morfologías habitativas de diferente escala, en su relación contextual. En este sentido, los gráficos que surgen de las citadas planillas, permiten sacar conclusiones comparativas, relacionando cuantitativamente aspectos morfológicos de la envolvente (factor de forma; relación lleno-vacío; ubicación y orientación de aventamientos) con resultados en el desempeño bioclimático tanto de los conjuntos como de las unidades.

De este modo la evaluación de los resultados hasta el momento obtenidos, propone un momento de integración desde las perspectivas morfosintáctica y ambiental, articulando datos emergentes de cada uno de los campos.

Se exponen a continuación y a modo de ejemplificación del camino recorrido, algunos resultados correspondientes al análisis y evaluación del Conjunto de Viviendas en Tafí Viejo en Tucumán. En el mismo se pone en evidencia el valor asignado al espacio de encuentro en distintas escalas, en virtud de la disposición y articulación de las morfologías arquitectónicas diversas y del criterio conectante que las vincula. Las relaciones de lleno-vacío, junto con la presencia del verde permiten reconstruir la idea de patio y a la vez construir el espacio social a diferentes escalas. Su estructura compositiva se organiza a lo largo de un eje longitudinal y va conformando rítmicamente una alternancia de llenos y vacíos proponiendo centros ordenadores-distributivos del sistema conectivo. Patios y calles definen laimetración en virtud de lo cual el borde adopta la categoría de poroso y es justamente el patio el que permite asignar a las sub-áreas la escala del encuentro y la participación social. En cuanto a la relación morfosintáctica de la propuesta con respecto al terreno, se observa una disposición de edificaciones enfrentadas coordinadas por espacios abiertos que favorecen el encuentro y el intercambio social a partir de diferentes tipologías ensambladas en una expresión dinámica y variada.

En cuanto a la lectura del caso desde la perspectiva bioclimática, luego del análisis de las condiciones ambientales del entorno, las recomendaciones de diseño adecuadas a dicha zona destacan la necesidad de protección solar y ventilación cruzada tanto en las unidades como en los espacios exteriores cuando las condiciones de temperatura y humedad se encuentran fuera del confort en época estival y requerimientos de ganancia solar y buenos niveles de inercia térmica y ventilación selectiva para el invierno y la primavera, época más seca y fría, con mayor amplitud térmica.

En virtud de estas condiciones, tanto el conjunto como las unidades presentan niveles de inercia apropiados para la zona y espacios exteriores que por sus proporciones acotadas permitirían la potencial humidificación en épocas secas, pero estas características logradas a partir de tipologías diversas, algunas de las cuales se adosan en forma espejada sin consideración de la geometría solar y los vientos dominantes, no favorecen buenas condiciones de ventilación y asoleamiento en épocas de alta temperatura y humedad relativa tanto en espacios interiores como exteriores. Asimismo, esta característica desaprovecha la potencialidad de los patios de convertirse en espacios amortiguadores de las condiciones ambientales desfavorables.

5. Conclusiones

La propuesta de trabajo inter-cátedras demandó la construcción de instrumentos conceptuales y de fundamentaciones teóricas a fin de articular valores morfológicos desde la mirada sustentable y así verificar comportamientos frente a diferentes situaciones medioambientales con el propósito de hacer transferencia de los mismos a procesos de diseño proyectual. Si bien los resultados son parciales, se pueden verificar en los conjuntos analizados desde la dimensión bioclimática, comportamientos morfosintácticos de tipologías residenciales y los efectos que estas morfologías producen en términos habitativos en los espacios de uso.

En cuanto al caso presentado, si bien el conjunto se emplaza en un medio no consolidado, lo cual no responde a requisitos de sustentabilidad para desarrollos residenciales, teniendo en cuenta sus características morfosintácticas y su escala, se puede argumentar que dada la secuencialidad

propuesta en el desarrollo de los espacios exteriores y las tipologías utilizadas, tiene alta potencialidad de asimilación-integración con las formas de habitar locales, siendo el propio conjunto el que construya el contexto físico, contribuyendo con el devenir del uso y la carga de cotidianidades como contenedor de identidades y portador de condiciones de significado.

El ejemplo expuesto sirve a modo de demostración de la necesidad y utilidad de incorporar a los procesos proyectuales miradas integradoras del proyecto que analicen durante el mismo proceso aspectos morfosintácticos atravesados por criterios de adecuación al entorno con herramientas que permitan la cuantificación de la eficacia de decisiones proyectuales en la definición de formas de implantación, tipologías edilicias y características de las envolventes constructivas, para asegurar condiciones de sustentabilidad en conjuntos residenciales y en sus unidades habitativas.

Desde la experiencia de investigación, se destaca la potencialidad de continuar profundizando y articulando entre ambas asignaturas los aspectos a observar, a fin de optimizar los procesos de análisis y evaluación de resultados. Asimismo, se prevé la necesidad de acordar y ajustar momentos didácticos de interacción entre cátedras para aprovechar los recursos de ambas en la producción de resultados transferibles al campo proyectual de los alumnos.

En cuanto al aporte didáctico, los procedimientos implementados entrenan al alumno en prácticas de investigación proyectual de fácil integración con los procesos y prácticas de diseño, tanto a escala arquitectónica como urbana, capacitándolos para la reflexión crítica sobre las propias decisiones y con herramientas que posibilitan ajustes inmediatos sobre un producto en proceso. Estas metodologías, ligadas a criterios auto-evaluativos, aportan a mejorar las prácticas profesionales orientándolas a la producción de proyectos, obras y ciudades más sustentables.

Referencias

- Abades, I. S. (2012) *Morfologías Arquitectónicas y Viviendas de Interés Social* Anuario Investigación Proyecto, Patrimonio y Sustentabilidad- UAI - Cap.1 Estudio sobre los Modos del Proyecto; 29 a 40
- Abades, I. S. (2013) *Espacios para habitar en el movimiento moderno. Lectura interdisciplinar morfológico-espacial de la vivienda individual*. Anuario Investigación - Forma, Arquitectura y Ciudad- UAI Cap.1 Estudio sobre los Modos del Proyecto; pp.25 a 38.
- Blasco Lucas, I et Al. (2004, 07) *Vivienda Clima y Energía: Diagnóstico y Propuestas en Casos de Estudio*. Libro Digital Interactivo de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la UNSJ, 1040 páginas. IRPha-UNSJ. ISBN: 950-605-361-8
- Campo Baeza, A. (2008) Compilador. *Aprendiendo a Pensar*. Editorial Nobuko, Bs. As.
- Compagnoni A. M. (2013) *Desempeño Bioclimático de Espacios de Transición. Una Experiencia Didáctica Orientada a Mejorar las Prácticas en Desarrollos Habitacionales*. en Revista Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente, Vol. 17. Inenco, Salta. ISSN 0329-5184.
- Compagnoni, A. M. y Serafini C.C. (2012). *La Experiencia Vernácula y su Transferencia a los Procesos Proyectuales del Hábitat Residencial*. Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente, Vol. 16 Inenco, Salta. ISSN 0329-5184.

Evans J M y De Schiller S. (1991) *Diseño Bioambiental Y Arquitectura Solar* Segunda Edición. Secretaría De Extensión Universitaria, FADU- UBA. Serie Ediciones Previas N° 9, Buenos Aires.

Giordano, L. (2013). *Tipologías Semánticas*. Anales Congreso del Habitar 2013

Lewkowicz I. y Sztulwark P. (2002). *Arquitectura Plus de Sentido. Notas Ad Hoc*. Editorial Kliczkowski,. Buenos Aires.

Mesa, A. & De Rosa C. (2001). "La Incidencia de las Variables Morfológicas, sobre la Eficiencia Energética de la Edilicia Urbana en el Área Metropolitana de Mendoza." Pp.07.37-07.42. Avances en Energías Renovables Y Medio Ambiente, Inenco, Salta. ISSN 0329-5184.

Autores

Ana María Compagnoni es Arquitecta FADU- UBA, Titular Permanente de Ambiente y Arquitectura e Investigadora de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Abierta Interamericana. Docente Autorizada UBA; Adjunta de las asignaturas Introducción al Diseño Bioambiental e Introducción a la Arquitectura Solar de la FADU-UBA Investigadora del CIHE-FADU- UBA Categoría III.

anacompa03@yahoo.com.ar

Irma Soledad Abades es Arquitecta FADU-UBA, Adjunta de Proyecto 2 y Tutora en Educación a distancia –FEDEV- en la FAU-UB; Titular Permanente de Morfología y Adjunta en Representación Arquitectónica e Investigadora de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Abierta Interamericana. irma.abades@gmail.com

Carla Cecilia Serafini es Arquitecta FADU-UBA, Adjunta de Ambiente y Arquitectura e Investigadora de la FA- UAI. Es JTP regular de la asignatura Historia de la Arquitectura en FADU-UBA e Investigadora del Instituto de Arte Americano FADU- UBA. carlaceserafini@yahoo.com.ar

Reconocimientos

Se destaca la colaboración del Ayudante Alumno Ignacio Alcaide, miembro del proyecto de investigación, que colaboró en la compilación y síntesis del material gráfico de esta presentación.

Modelado térmico-energético edilicio como instrumento didáctico: Aplicación práctica en Asignatura de Arquitectura Sustentable

*Irene Blasco Lucas*¹, *Celina Filippín*², *María Silvia Castro*¹, *Celina Villalba*¹, *Anahí Guevara*¹

Resumen

Se realizó una experiencia con el fin de lograr a la vez una rápida y profunda comprensión de la importancia que representa el uso de estrategias sustentables en edificios, como parte de la Asignatura "Arquitectura Sustentable en la Aridez" en la Maestría en Arquitectura de zonas áridas y sísmicas de la Universidad Nacional de San Juan. En ella, los conocimientos aprendidos fueron aplicados mediante el diseño de pequeños modelos analógicos y digitales, y la evaluación de su comportamiento térmico-energético a través de monitoreos y simulaciones respectivamente, asociado al uso de dos herramientas informáticas específicas. Como ejemplo se muestra sintéticamente el informe elaborado por un equipo de estudiantes del posgrado.

Palabras clave: Térmico-energético; modelos; instrumento didáctico; sustentabilidad.

Thermal-energy building modeling as a teaching tool: Practical application in Sustainable Architecture Subject

Abstract

An experience has been done in order to achieve both a quick and deep understanding of the importance that the use of sustainable building strategies represents, as part of the subject "Sustainable Architecture in aridity" at the Master of Architecture in arid and seismic zone of the National University of San Juan. In this, learned knowledge was applied by designing small analog and digital models, and evaluating its thermal-energy performance through monitoring and simulation respectively, associated the use of two specific tools. As example, a summarized report prepared by a team of graduate students is shown.

Keywords: Thermal-energy; models; didactic instrument; sustainability.

¹ Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa-FAUD-UNSJ). Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan, Argentina. Tel.:+54-264-423-2395 Int. 318. E-mails: iblasco@faud.unsj.edu.ar, iblasco06@gmail.com

² CONICET. Av Spinetto 785, Santa Rosa - 6800 La Pampa, Argentina. Tel/fax: +54-295-430-910. E-mail: cfilippin@cpenet.com.ar

Introducción

En el presente trabajo se considera que hacer *Arquitectura Sustentable* “...implica concebir el diseño arquitectónico teniendo en cuenta en el largo plazo los aspectos ambientales, económicos, sociales e institucionales para aprovechar moderada y eficientemente los recursos utilizados y minimizar impactos negativos de las construcciones, tanto sobre el ambiente natural como sobre los habitantes, donde los temas energéticos relacionados con el mantenimiento de condiciones confortables adquieren gran relevancia.” (Blasco Lucas, 2013). Conforman el principal compromiso ético disciplinar en la actualidad, afianzando el concepto de Arquitectura como “*arte-ciencia del buen construir el hábitat humano*” (Tedeschi, 1969). De allí la importancia de incorporar un sólido cuerpo teórico-metodológico de conocimientos en la enseñanza de grado y posgrado, con sus principios básicos e instrumentos adecuados para ejercer la práctica profesional. Por el carácter de ciencia fáctica y la esencia multidisciplinar de la Arquitectura resulta particularmente apta la pedagogía constructivista para reforzar tanto la participación activa, como la responsabilidad y creatividad de los estudiantes en estrecha relación con los docentes. Es necesario entonces utilizar recursos didácticos apropiados a las características disciplinares para lograr los fines formativos perseguidos e integrar la visión espacio-temporal propia de la Arquitectura Sustentable (Blasco Lucas, 2015).

En general se acepta que la teoría es un sistema lógico-deductivo constituido por un conjunto de hipótesis aplicadas a un campo específico a través de algunas reglas que permitan extraer conclusiones y hacer inferencias, sirviendo de este modo para confeccionar **modelos** que interpreten un conjunto amplio de observaciones y datos experimentales, en función de los axiomas o principios, supuestos y postulados de la teoría, dando fundamentos para llevar a cabo experiencias en un mayor nivel de certeza (Mario Bunge, 1975; en Lakatos, 1993 : 123-133).

Según el diccionario (LECTUM, 1965 : Tomo III), el término “*Modelo*” tiene diferentes acepciones, pero todas se relacionan con el sentido de molde (en latín “*Modulus*”, en italiano “*Modello*”). En su más amplia concepción todas las definiciones refieren que se trata de una “*interpretación de algo*”. Dado que un “*modelo*” es una representación abstracta de una parte de la realidad, una imagen de la misma -la cual constituye un macrosistema que interconecta varios sistemas-, el mismo se constituye en una herramienta ideal para facilitar procesos de enseñanza-aprendizaje.

Características y tipos de “modelos”

Debido a las naturales limitaciones del ser humano para aprehender la complejidad inherente a la realidad -que surge de la multiplicidad de aspectos intervinientes y tipos de interrelaciones entre los mismos-, se recurre a la construcción de modelos, que se caracterizan tanto por seleccionar aquellas variables de mayor relevancia para el problema analizado, como por excluir aquellas que pueden influir en un porcentaje muy bajo en el fenómeno de estudio, contribuyendo de este modo a lograr una mayor claridad. Esto implica una simplificación de la realidad, por lo cual, mientras ésta sea mayor, menor será la posibilidad de éxito del modelo, por alejarse demasiado de la necesaria fidelidad con su fuente de origen (Thuvander, 2000 : 14-17). Es así que en la Ciencia de la computación teórica se utiliza el concepto de “*modelo*” (Biehl, 2010: 6-15) entendiéndolo como una representación sencilla que ayuda a una mejor comprensión del sistema global, capaz de capturar la información de las etapas del ciclo de vida y actividades de desarrollo de distintos dominios (requisitos, diseño, implementación, pruebas, análisis de calidad, simulación, verificación).

Las nociones de modelo y sistema van estrechamente asociadas: el sistema es la parte de la realidad a ser analizada y el modelo es su representación, en definitiva, es un sistema que representa a otro (Lundequist, 1995 : 93). Son construcciones sociales y se los utiliza heurísticamente (del Griego, *heuriskein*: encontrar) para lograr visualizar y simular procesos dinámicos complejos.

Von Bertalanffy (1998) afirma que la Teoría General de Sistema (TGS) *“representa un amplio punto de vista que trasciende grandemente los problemas y los requerimientos tecnológicos, una reorientación que se ha vuelto necesaria en la ciencia en general, en toda la gama de las disciplinas que va de la física y la biología a las ciencias sociales y del comportamiento, y hasta la filosofía”*. Rompiendo con el enfoque clásico de las ciencias exactas, la TGS se instrumenta a partir de detectar isomorfismos, que son paralelismos entre principios cognoscitivos generales en distintos campos, resultando abstracciones y modelos conceptuales coincidentes aplicables a fenómenos diferentes, en muchos casos relacionados con una ley específica. Las causalidades lineales y no lineales (incluso las circulares), la reversibilidad e irreversibilidad de los fenómenos (alta entropía), las perturbaciones previstas y arbitrarias, la aleatoriedad, la homeostasis (o búsqueda natural del equilibrio), el automatismo, etc., son algunos de los múltiples conceptos que intervienen en los sistemas complejos, muchos de ellos posibles de modelar matemáticamente mediante cálculo infinitesimal, mientras que otros -generalmente en el campo de las ciencias humanas- aplican la TGS a modo de “explicaciones en principio” resultando “modelos verbales” con argumentaciones cualitativas (lógica tradicional y lógica difusa).

Siempre es muy importante lograr definir correctamente el sistema y los principios, modelos y leyes generales aplicables al problema que se estudia, y esto no puede basarse en analogías vagas y superficiales (Von Bertalanffy, 1998 : 23-48). En función de todo lo afirmado anteriormente, se puede sintetizar que los Modelos se caracterizan por:

- contar con principios que permiten relacionar estrechamente los elementos reales con los representados
- conformarse en base a la estructura real de un sistema
- poseer un nivel de complejidad estrechamente relacionado con la cantidad de información que contienen
- ser sólo verdaderos para el sistema que representan
- resultar válidos para representar relaciones entre varios sistemas diferentes
- lograr ser exitosos solo cuando se formulan correctamente las preguntas que definen el problema de origen

Generalmente se utilizan esquemas gráficos o ideogramas para construir los modelos, y al igual que éstos, se estructuran dando un orden particular a los conceptos, elementos y variables interactuantes (Ramos Álvarez, 2005 : 23-26). Algunos autores (Climent, 1993) clasifican estos modelos e ideográficas en dos grupos, cada uno con cuatro tipos diferentes según su complejidad, principalmente adaptados a problemáticas de gestión. En el primer grupo existen controles cíclicos entre cada etapa del proceso y enfatizan el alcance de la meta final. Pueden ser: lineales, multi-lineales, cibernéticos y socio-cibernéticos. El segundo grupo, se centra en el intercambio de procesos, abarcando los holísticos, interdependientes, cibernéticos holísticos y cibernéticos interdependientes.

Por otro lado, el uso generalizado de la tecnología informática ha llevado a diferenciar entre “*modelos analógicos*” y “*modelos digitales*”. En Arquitectura, ambos son usados habitualmente en el proceso de diseño, sobre todo para elaborar “*maquetas*” de los espacios. En el primer caso, son materializadas físicamente en escala reducida, y en el segundo, son visualizables vectorizadas en las pantallas de computadoras. Los dos tipos resultan de gran utilidad, enfatizando distintos fines. Adicionalmente, aunque en menor grado, se requieren “*modelos alfa-numéricos*” -que también suelen ser digitales- para cuantificar y evaluar determinadas variables constructivas. Estos modelos presentan dificultades para ser incorporados en el proceso de diseño debido a las características intelectuales y cognitivas de los alumnos de la Carrera Arquitectura, que normalmente vivencian estas herramientas como limitantes de su creatividad.

Metodología

La experiencia llevada a cabo, se conforma de 4 instancias pedagógicas claves, consistentes en:

1. **Teoría:** Principales fundamentos teóricos del tema brindados por los docentes, los cuales serán profundizados por los alumnos. En el presente caso, versó sobre estrategias bioclimáticas y de ahorro energético.
2. **Ideación y Materialización:** Aplicación teórico-analítica por parte de los alumnos, de los conceptos básicos recibidos, a fin de diseñar sistemas de acondicionamiento térmico pasivo en un espacio dado, y la experiencia a llevar a cabo, tales como:
 - 2.1. Construcción del modelo físico-analógico correspondiente, respetando las características de los componentes reales y las proporciones dimensionales respectivas.
 - 2.2. Descripción de un módulo constructivo sencillo predefinido, con algunos sistemas utilizados en el planteo bioclimático elaborado.
3. **Cuantificación:** Registro y simulación de los parámetros principales realizando las variaciones previstas en los modelos, tales como:
 - 3.1. Mediciones de temperatura y humedad en tiempo real con dataloggers de los puntos clave del sistema que se testea, exponiéndolo durante 2 días y 1 noche a cielo abierto. Se usan para las lecturas intervalos de tiempo del orden del minuto. Además se mide el ambiente exterior y el del aula, éste a modo de referencia.
 - 3.2. Cálculo dinámico del comportamiento térmico y el consumo energético asociado del módulo constructivo predefinido, cambiando localización geográfica, y/o dimensiones y tipos de componentes.
4. **Uso de herramientas:** Manejo de programas informáticos para procesamiento de mediciones y de cálculo térmico-energético, a fin de ejercitar a los alumnos en su uso y en la interpretación de los resultados, en esta oportunidad fueron:
 - 4.1. PROMEDI-HTL (Blasco Lucas, 2013), que es un libro programado en planillas Excel, apto para el análisis simultáneo de los registros ejecutados con múltiples sensores.
 - 4.2. SIMEDIF (Flores Larsen y Lesino, 2000; Filippín, 2005), el cual es un programa de libre disponibilidad, para diseño y simulación del comportamiento de edificios con acondicionamiento térmico natural y artificial.

Para resolver las cuestiones operativas, se conformaron equipos compuestos con 2 o 3 integrantes, libres para interactuar entre los distintos grupos. Se destinó un tiempo acotado de 2hs para elaborar

el diseño, y 4hs para construir el modelo analógico, mientras que la simulación se llevó a cabo durante 4hs y el procesamiento e interpretación final de resultados en 2hs adicionales. Con todo el material los alumnos redactaron posteriormente un informe -contando con la asistencia docente por vía mail-, lo cual fue útil para que terminaran de madurar el tema.

Experiencia realizada

Cada equipo tuvo las consignas y el tiempo para la ideación el día anterior al previsto para la construcción de las maquetas, debiendo conseguir los materiales necesarios para contar con los mismos durante la actividad de Taller (Figura 1), que se desarrolló en un clima distendido de reflexión, diálogo, intercambio y trabajo. En la Figura 2 se muestran algunos modelos analógicos construidos en el breve lapso estipulado. Una vez dispuestas las maquetas al aire libre para efectuar las mediciones higrotérmicas, se llevó a cabo el Taller experimental de modelado térmico-energético digital (Figuras 3 y 4) con SIMEDIF, donde primero la docente mostró un ejemplo resuelto, y luego los alumnos se ejercitaron realizando variaciones al módulo constructivo definido previamente.

Figura 1. Taller experimental durante la construcción de los modelos analógicos.



Fuente: Foto tomada por I. Blasco Lucas.

Figura 2. Algunos modelos analógicos construidos.



Fuente: Fotos tomadas por I. Blasco Lucas.

Figura 3. Taller de experimentación de modelos digitales: Explicación de ejemplo de simulación con SIMEDIF.



Fuente: Foto tomada por I. Blasco Lucas.

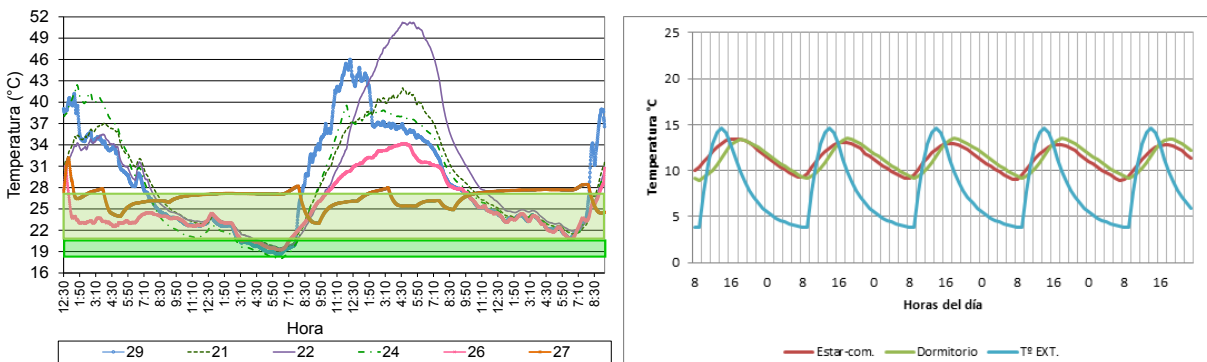
Figura 4. Taller de experimentación de modelos digitales: Práctica individual de simulación con SIMEDIF.



Fuente: Foto tomada por I. Blasco Lucas

En la Figura 5 se exponen algunos resultados obtenidos con las herramientas informáticas que ejercitaron los alumnos para el procesamiento de mediciones higrotérmicas (programa PROMEDI-HTL, Izquierda), y para la simulación térmico-energética (software SIMEDIF, Derecha).

Figura 5. Algunos resultados obtenidos con herramientas informáticas. Izquierda: con PROMEDI-HTL (procesamiento de mediciones higrotérmicas). Derecha: con SIMEDIF (Simulación térmico-energética).



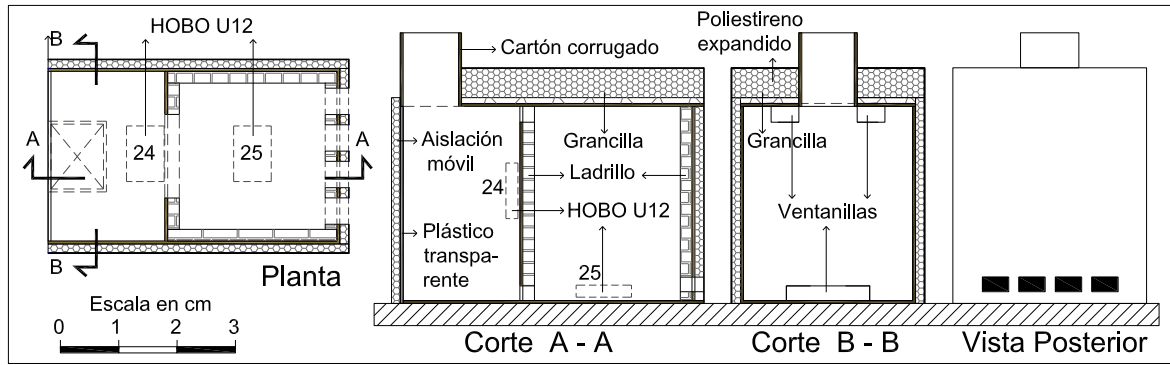
Fuente: Figuras elaboradas por I. Blasco Lucas con PROMEDI-HT(Izq.), y por M.M. Herrera y E. Franco (Der.).

A modo de ejemplo de los resultados detallados obtenidos en cada instancia pedagógica, a continuación se presentan parcialmente los informes individuales realizados por uno de los equipos conformados, rescatando solo los aspectos comunes a todos los grupos, pues cabe destacar que hubo interesantes aportes diferenciales en cada caso.

Ideación del Sistema

Para el diseño de la maqueta (Figura 6) se tuvo como referencia las cartillas con esquemas de sistemas pasivos de calefacción y refrescamiento, provistas en el curso, que permitieron definir los componentes de los cuatro subsistemas energéticos del modelo: *Captación*, *Acumulación*, *Conservación* y *Distribución*. A partir del análisis del clima de la ciudad de San Juan con diferentes métodos bioclimáticos, se precisaron las estrategias generales adecuadas para lograr una arquitectura adaptada a sus particulares características ambientales, y se seleccionaron tanto las de utilidad anual, tales como: **masa térmica** (con grancilla en el techo y ladrillos en los muros) y **conservación energética** (con aislación térmica de poliestireno expandido en toda la envolvente); como también las estacionales: **ventilación cruzada** (con aberturas en la parte inferior del muro expuesto al Sur, y superiores en el orientado al Norte); **chimenea solar** (para evacuar el aire caliente en verano); **protección solar** (mediante persiana móvil de poliestireno expandido que sirve de alero cuando está abierta, y color blanco en la envolvente); y **ganancia directa** para invierno (con plástico transparente al Norte).

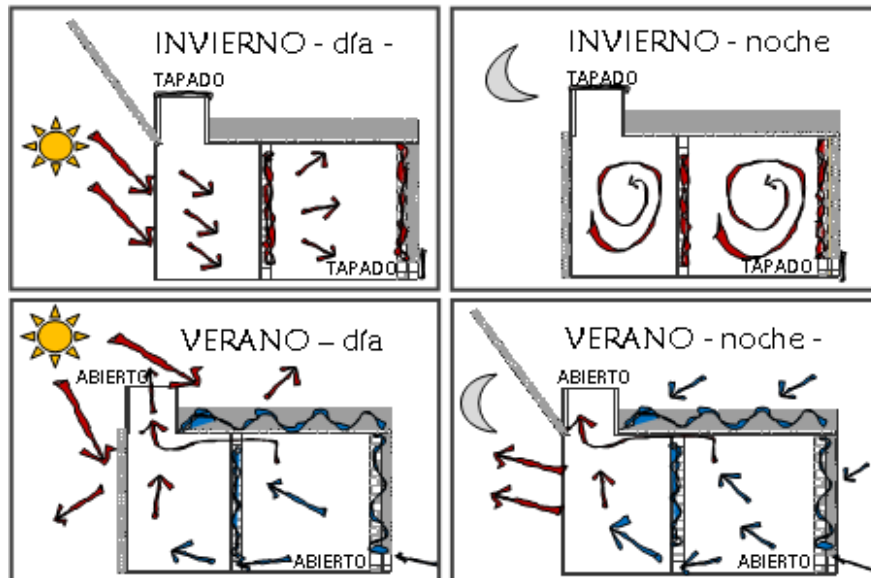
Figura 6. Ideación del sistema: descripción gráfica del modelo analógico.



Fuente: Figura elaborada por I. Blasco Lucas en base a esquemas hechos por A. Guevara y C. Villalba.

Asimismo, se analizó esquemáticamente el funcionamiento térmico que tendría el modelo analógico propuesto durante el día y la noche de las dos estaciones más extremas (invierno y verano), cuyos gráficos se representan en la Figura 7.

Figura 7. Ideación del sistema: descripción gráfica del funcionamiento térmico estacional, diurno y nocturno del modelo analógico.



Fuente: Figura elaborada por I. Blasco Lucas en base a esquemas hechos por A. Guevara y C. Villalba.

Materialización del modelo analógico

En la Figura 8 se muestra la materialización del modelo analógico en distintos momentos.

Figura 8. Modelo analógico: proceso constructivo y exposición en la terraza de posgrado junto a otras.



Fuente: Fotos tomadas por I. Blasco Lucas y M.S. Castro.

En las fotos se puede ver el proceso constructivo con los materiales que conformaron la maqueta, el aspecto de la misma terminada, y su exposición en la terraza de posgrado junto a otras, mientras se registraban las mediciones. Se utilizó una caja de cartón corrugado como contenedor estructural de los distintos elementos del modelo, y para personalizarla se la denominó “Villa 31”.

Procesamiento y análisis de mediciones higrotérmicas

Aunque se instalaron dos sensores HOBOS -uno en cada recámara de la maqueta- solo funcionó el del espacio delantero identificado como “24”. Para contar con los valores de los parámetros exteriores, se ubicó protegido afuera otro sensor, cuyo código fue “29”. A modo de referencia se llevaron a cabo mediciones en el interior del aula (climatizada), a través del datalogger “27”, para comparar los distintos resultados. El resumen de datos estadísticos se muestra en la Tabla 1.

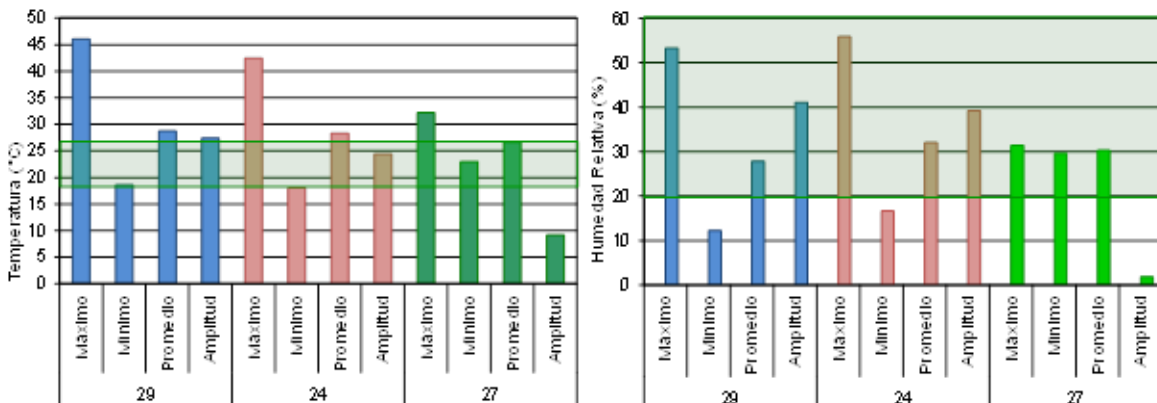
Tabla 1. Síntesis de datos estadísticos.

| Sensor | Valor | Temperatura | | | | Humedad Relativa | | | | Iluminancia |
|--------|----------|-------------|---------------------|-----|------|------------------|---------------------|-------|------|-------------|
| | | Estadística | Cálculo Variaciones | | | Estadística | Cálculo Variaciones | | | |
| | | | V = E-Ci | V/E | Ci/E | | V = E-Ci | V/E | Ci/E | |
| (°C) | (°C) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (Lux) | | |
| 29 | Máximo | 46,00 | - | - | - | 53,32 | - | - | - | 32280,10 |
| | Mínimo | 18,60 | - | - | - | 12,23 | - | - | - | 3,90 |
| | Promedio | 28,71 | - | - | - | 27,83 | - | - | - | 11622,18 |
| | Amplitud | 27,40 | - | - | - | 41,09 | - | - | - | 32276,20 |
| 24 | Máximo | 42,45 | 3,56 | 8 | 92 | 55,86 | -2,54 | -5 | 108 | 32280,10 |
| | Mínimo | 18,01 | 0,59 | 3 | 97 | 16,63 | -4,40 | -36 | 136 | 3,90 |
| | Promedio | 29,33 | 0,39 | 1 | 99 | 32,01 | -4,18 | -15 | 115 | 4658,51 |
| | Amplitud | 24,44 | 2,96 | 11 | 89 | 39,23 | 1,85 | 5 | 95 | 32276,20 |
| 27 | Máximo | 32,18 | 13,83 | 30 | 70 | 31,38 | 21,94 | 41 | 49 | 32280,10 |
| | Mínimo | 22,97 | -4,36 | -23 | 123 | 29,56 | -17,33 | -142 | 242 | 3,90 |
| | Promedio | 26,62 | 2,09 | 7 | 93 | 30,27 | -2,45 | -9 | 109 | 2903,00 |
| | Amplitud | 9,21 | 18,19 | 66 | 34 | 1,81 | 39,27 | 96 | 4 | 32276,20 |

Fuente: Tabla elaborada por I. Blasco Lucas con PROMEDI-HTL.

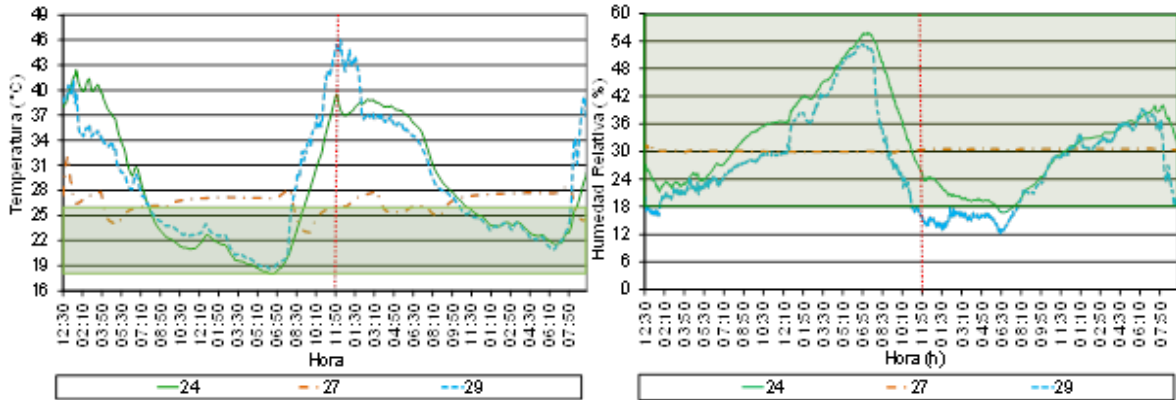
Las condiciones climáticas durante la experiencia fueron extremas (20/11/2013), alcanzando una temperatura máxima de 46°C (Tabla 1). En el interior de la maqueta llegó a 42,45°C logrando bajar más de 3°C, sin embargo, en los valores mínimos solo desciende 0,59°C, pero finalmente la amplitud térmica es de 24,44°C, un 8% menor que la exterior. La humedad máxima es 2,5% superior en el interior del modelo, mientras que la mínima es un 4,4% menor. Aunque el aula estuvo climatizada mientras se ocupó, alcanzó más de 32°C. Debido al amplia área transparente presentó una elevada luminancia (igual a la exterior) cuando la misma estuvo sin protección.

Figura 9. Representación de los valores estadísticos de temperatura (Izquierda) y humedad (Derecha).



Fuente: Figuras elaboradas por M.S.Castro, C. Villalba y A. Guevara con PROMEDI-HTL.

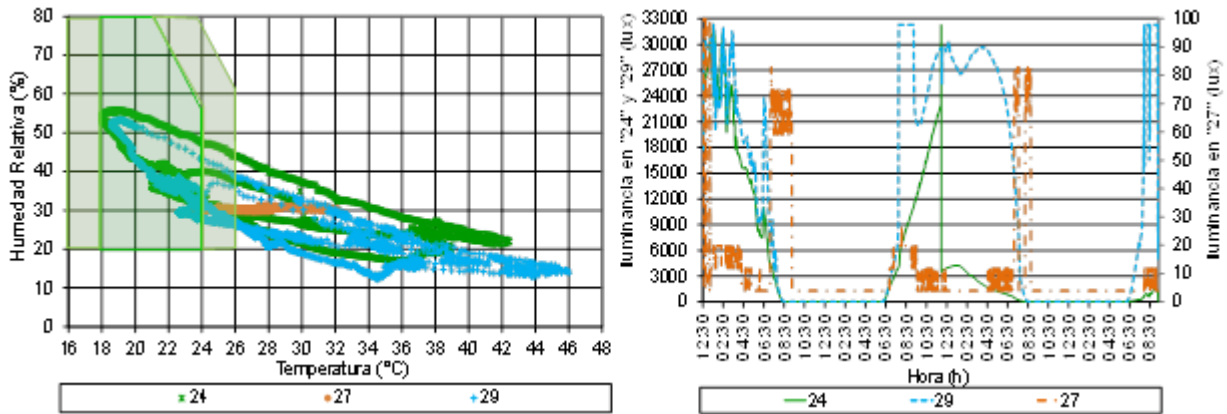
Figura 10. Evolución temporal de temperatura (Izquierda) y humedad (Derecha).



Fuente: Figuras elaboradas por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara con PROMEDI-HTL.

Durante el primer día la superficie de plástico transparente del modelo permaneció sin la protección térmica, lo cual determinó que en horario nocturno las temperaturas interiores fuesen levemente más bajas que las exteriores, pero que en horario diurno ascendiesen hasta 3°C por sobre la misma, ya que el área prevista de ventilación resultó insuficiente para evacuar el calor acumulado en la masa del modelo. Recién a partir de mediodía de la segunda jornada se cubrió la abertura transparente (el momento se indica con línea punteada color rojo en las gráficas de la Figura 10) permitiendo un descenso marcado de la temperatura al inicio, y manteniendo una menor diferencia por encima de la exterior. El aula tuvo una curva muy aplanada, pero fuera de la zona de confort, con una baja humedad relativa (30%).

Figura 11. Dispersión higrométrica (Izquierda) e Iluminancia (Derecha).



Fuente: Figuras elaboradas por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara con PROMEDI-HTL.

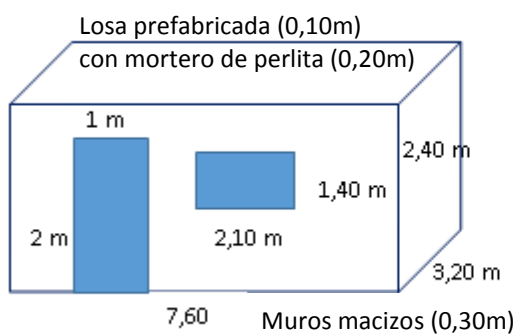
En la Figura 11 Izquierda se observa que las condiciones higrotérmicas del modelo acompañan el comportamiento exterior logrando una mejoría considerada significativa si se tiene en cuenta la escala del mismo, la rigurosidad climática que tuvo lugar y el elevadísimo albedo causado por la cubierta de membrana de aluminio, más aún cuando las estrategias aplicadas no fueron manejadas correctamente -debido a la dificultad que hubo para ascender a la azotea donde se llevaron a cabo las mediciones-.

La Iluminancia interior de la maqueta sigue prácticamente la curva de la exterior y desciende bruscamente cuando se tapa el área de ganancia solar (Figura 11 Derecha). El aula estuvo la mayor parte del tiempo oscurecida por el uso del proyector.

Módulo constructivo para simulación

En la Figura 12 se representa el módulo constructivo predeterminado para realizar las diferentes variantes de simulación térmico-energética. El mismo mide 7,20m x 3,60m x 2,60m, y tiene dos puertas de madera de 2,00m x 1,00m en muros opuestos (todos macizos de 0,30m), y una ventana de 2,10m x 1,40m orientadas al Norte (vidrio simple de 4mm). La losa es prefabricada de 0,10m de espesor con 0,20m de mortero de perlita. Se evalúa el comportamiento térmico del módulo para la ciudad de San Juan (Tabla 2), variando los niveles de aislación térmica y el uso o no de sistemas de acondicionamiento (con/sin termostato). A su vez, se analizan las situaciones con termostato en invierno a 18°C y 20°C; y en verano a 20°C y 24°C. Con los resultados obtenidos, se compara la energía auxiliar necesaria para cada situación.

Figura 12. Módulo constructivo predeterminado.



Fuente: Elaborado por M.S. Castro.

Tabla 2. Datos de localización y climáticos utilizados.

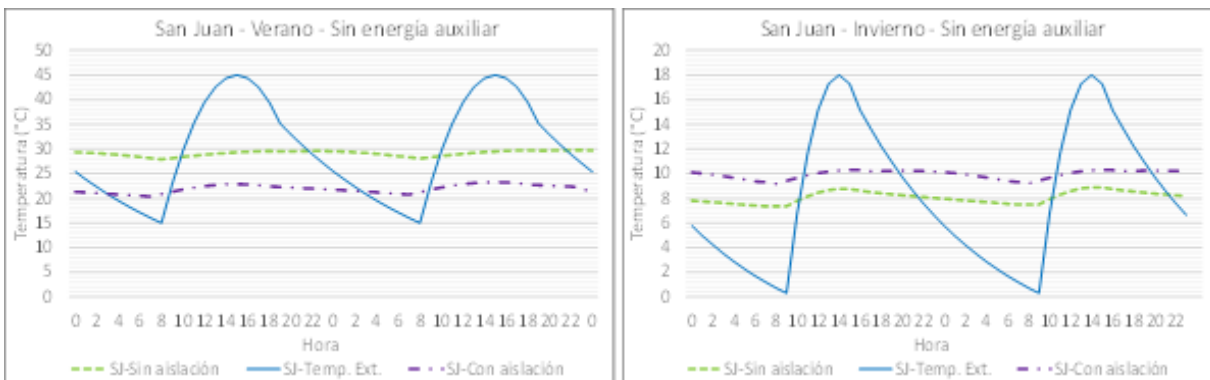
| Ciudad | | | San Juan |
|-------------------------|------------------|-----------------------------|----------|
| Localización Geográfica | Latitud | | 31,8 |
| | Longitud | | 68,4 |
| | Altura snm (m) | | 598,0 |
| Estación | Parámetro | Tipo | |
| Invierno | Temperatura (°C) | Máxima | 18,0 |
| | | Mínima | 0,3 |
| | | Promedio | 8,8 |
| | Radiación | Global (MJ/m ²) | 10,8 |
| Verano | Temperatura (°C) | Máxima | 45,0 |
| | | Mínima | 15,0 |
| | | Promedio | 30,0 |
| | Radiación | Global (MJ/m ²) | 25,2 |

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Simulación térmico-energética

Las simulaciones fueron realizadas para 15 días corridos en cada estación, pero se analizan solo los dos últimos, cuando ya entró en régimen el sistema. A modo de ejemplo de los resultados obtenidos con SIMEDIF para diferentes alternativas se muestran las gráficas de las Figuras 13 y 14. En la Figura 13 se analiza el comportamiento del módulo para ambas estaciones sin aislación y con aislación térmica. Se observa que en verano durante la primera situación alcanza valores que varían alrededor de los 30°C, mientras que en la segunda permanece en la zona de confort, descendiendo la temperatura hasta 10°C.

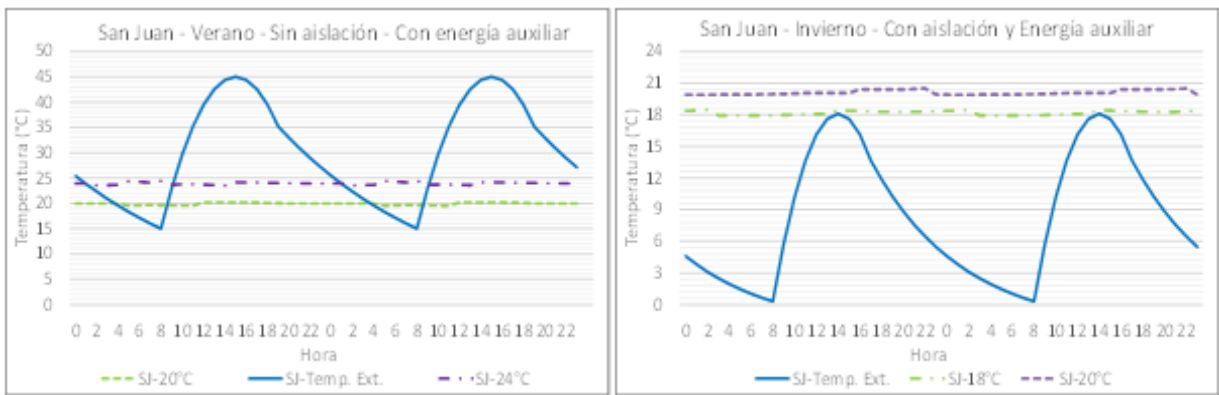
Figura 13. Algunos resultados obtenidos con SIMEDIF sin aislación térmica ni uso de energía auxiliar.
Izquierda: para Verano. **Derecha:** para Invierno.



Fuente: Figuras elaboradas por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara usando MS-Excel.

Asimismo, en invierno, sin aislación la temperatura oscila alrededor de los 8°C, y con aislación sube unos 2°C, pero continúa permaneciendo en desconfort. Se constata que el módulo posee una buena inercia térmica, demostrada en el fuerte aplanamiento de la onda de temperatura para todos los casos antes descritos. En la Figura 14 se presentan dos casos con uso de energía auxiliar. Si en verano (Izquierda), se considera el módulo sin aislación, pero usando energía auxiliar para refrigerar con termostato fijado a 20°C y a 24°C, el consumo asciende respectivamente a 42,15kWh y a 31,70kWh, ocasionando un aumento de 14,89 kWh (35%). Por otro lado, en invierno (Derecha), con aislación térmica y uso de energía auxiliar para calefacción seteada a 18°C y a 20°C, se necesita consumir respectivamente 29,04 kWh y 29,42kWh. La diferencia de subir 2°C implica un incremento del orden de 1,3%. En la Tabla 3 se sintetizan los resultados de consumos obtenidos para facilitar la comparación.

Figura 14. Algunos resultados obtenidos con SIMEDIF. **Izquierda:** para Verano sin aislación y con uso de energía auxiliar. **Derecha:** Para Invierno con aislación y con uso de energía auxiliar.



Fuente: Figuras elaboradas por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara usando MS-Excel.

Tabla 3. Síntesis comparativa de las necesidades de energía auxiliar para cada situación.

| Termostato (°C) | Energía auxiliar | | | | |
|-----------------|------------------|----------------------|----------------|------------------------|----------------|
| | Unidades | Verano sin aislación | | Invierno con aislación | |
| | | Consumo | Incremento (%) | Consumo | Incremento (%) |
| 18 | MJ/día | | | 104,45 | 1,30 |
| | kWh | | | 29,04 | |
| | Cal/h | | | 2497,00 | |
| 20 | MJ/día | 176,30 | 35,00 | 105,80 | |
| | kWh | 49,11 | | 29,42 | |
| | Frig/h Cal/h | 4.214,90 | | 2530,00 | |
| 24 | MJ/día | 114,03 | | | |
| | kWh | 31,70 | | | |
| | Frig/h | 2.726,00 | | | |

Fuente: Tabla elaborada por I. Blasco Lucas en base a cuadros hechos por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara.

Conclusiones

Los resultados pedagógicos obtenidos con la experiencia conducida demuestran que el uso del modelado térmico-energético -tanto analógico como digital- representa un instrumento didáctico altamente eficiente en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Arquitectura Sustentable. Los alumnos manifestaron que esta modalidad les permitió, por un lado, asimilar mejor los conceptos y comprender cómo lograr la integración de la tecnología informática con sus facilidades de cálculo al proceso de diseño. También los sensibilizó fuertemente como práctica fenomenológica

permitiéndoles captar en profundidad la sutil influencia de cada variable en el juego dinámico y complejo de la temática. En definitiva, hubo una mayor aceptación hacia el enfoque holístico-ambiental que necesariamente debe tener hoy más que nunca la disciplina Arquitectura.

Bibliografía

- Biehl, Matthias (2010). *Literature study on model transformations. Embedded control systems*. Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden.
- Blasco Lucas, Irene (2013). *Arquitectura sustentable en hábitat rural de zona árido-sísmica: Aportes teórico-metodológicos*. Tesis Doctoral en Arquitectura. Universidad de Mendoza.
- Blasco Lucas, Irene (2015). *Formación en Arquitectura Sustentable: Experiencia en la FAUD-UNSJ a nivel de grado y posgrado*. Actas de la XXXVIII Reunión de Trabajo de ASADES. San Rafael, Mendoza.
- Bunge, Mario (1975). *Teoría y realidad*. Ariel. Barcelona.
- Climent, J. (1993). *From linearity to holism in technology transfers models*. The Journal of Technology Transfer 8 (3 y 4). En: *Metodología para la evaluación de una política de gestión de riesgos ante desastres naturales y antrópicos*. Ramos Alvarez M., 2005: 23.
- Filippín, Celina (2005). *Uso eficiente de la energía en edificios*. Amerindia. Santa Rosa, La Pampa.
- Flores Larsen, Silvana, Lesino, Graciela (2000). *SIMEDIF 2000: Nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) 4, 2 : 8.53-8.58.
- Lakatos, Imre (1993). *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza. Madrid.
- LECTUM Editores Argentinos S.A. (1965). *Nuevo diccionario enciclopédico ilustrado para América Latina*. Editorial Sopena Argentina S.A. Buenos Aires.
- Ramos Alvarez, Mauricio (2005). *Metodología para la evaluación de una política de gestión de riesgos ante desastres naturales y antrópicos*. Red CYTED XIV-G Hábitat en Riesgo. Córdoba.
- Tedeschi, Enrico (1969). *Teoría de la Arquitectura*. Segunda Edición. Nueva Visión. Buenos Aires.
- Thuvander, Liane (2000). *The building stock: A complex system changing over time*. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden.
- Von Bertalanffy, Ludwig (1989). *Teoría general de los sistemas: Fundamento, desarrollo y aplicaciones*. Traducción al español: Almela J. Séptima edición. Fondo de Cultura Económica. México.

Evaluación del dictado del módulo Construcción Sustentable en una Maestría Interdisciplinaria.

Gabriela A. Casabianca¹, John M. Evans², Silvia de Schiller³

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar una evaluación sobre los resultados del dictado del módulo Construcción Sustentable en una maestría interdisciplinaria de la UBA. La propuesta didáctica parte de la necesidad de impartir conceptos sobre construcción sustentable a alumnos de posgrado formados en disciplinas no afines a la arquitectura y la construcción. Un aspecto importante es el desarrollo de un trabajo práctico, indispensable para la aprobación del módulo, que contemplara o bien se adaptara a las diferencias en la formación profesional de los alumnos, que en muchos casos provienen de otros países latinoamericanos. Luego de la experiencia llevada a cabo con distintas cohortes, se presentan los ajustes realizados en el programa del módulo y los resultados obtenidos en los trabajos realizados por los alumnos.

Palabras clave: construcción sustentable; propuesta didáctica; interdisciplina.

^{1 2-3} Centro de Investigación Hábitat y Energía (CIHE), FADU, UBA, CABA, Argentina. e-mail: cihe@fadu.uba.ar

Assessment of Sustainable Construction dictation module Interdisciplinary Master.

Abstract

The aim of this paper is to present the results of the Sustainable Construction module issued an interdisciplinary master of the University of Buenos Aires. The design of the didactic proposal was based in the need to teach sustainable building concepts to graduate students not trained in disciplines related to architecture and construction. Another aspect was to develop a practical work, necessary to approve the module, that contemplate and also could be adapted to the differences in the training of students, who often come from other Latin American countries. This article presents the results obtained after carried out different cohorts, considering the changes in the program module and the results of the work done by the students.

Keywords: sustainable construction; didactic proposal; interdisciplinarity

Introducción

La Maestría en Tecnologías Urbanas Sostenibles es un posgrado dirigido a profesionales que buscan orientar su trabajo y decisiones para alcanzar mejoras en el ambiente y el hábitat futuro, aplicando el conocimiento técnico como eje estratégico que genere valor con responsabilidad socio-ambiental, ante un desafío que demanda innovación, creatividad y capacidad de trabajo interdisciplinario. Su propuesta parte de la consideración de que las tecnologías son un importante componente del cambio y progreso, impactando en las economías, en el ambiente y en el bienestar de la sociedad.

El diseño de la carrera responde a la necesidad de determinar y evaluar el impacto de la utilización de tecnologías, tanto existentes como las que están en desarrollo antes de su aparición en el mercado, sobre los tres pilares de la sostenibilidad, social, ambiental y económico. La complejidad del tema abarcado ha impulsado una estructura de tipo interdisciplinario, con un plan de estudios que comprende temas como Ambiente, Sociedad y Economía, Sostenibilidad Urbana, Movilidad Urbana, Energía, Tecnologías Urbanas, Evaluaciones e Indicadores Sostenibles, Protección de la Naturaleza y Biodiversidad en Áreas Urbanas, Materiales, Diseño y Construcción Sostenibles.

El objetivo de la Maestría es formar profesionales que posean conocimientos multidisciplinares e integrables, que comprendan las necesidades del ambiente y la sociedad local y global con una visión comprometida con un desarrollo equitativo, capacitándolos para el diseño e implementación de alternativas tecnológicas anticipando el impacto de su aplicación.

El desafío que se plantea es comunicar los conocimientos vinculados al diseño y la construcción sostenible a alumnos provenientes de distintas formaciones disciplinares de grado, en su mayoría no vinculadas a la temática de la arquitectura y la construcción, de manera que puedan comprender su importancia e influencia en la construcción del hábitat. En este contexto, este trabajo presenta una evaluación de los resultados obtenidos luego de transcurrido el cursado de 5 cohortes de alumnos.

Objetivos

El objetivo del módulo Construcción Sostenible, que se dicta en 6 clases de 4 horas presenciales, es analizar las características del proceso de construcción sustentable a fin de identificar medidas para mitigar, eliminar o reducir impactos ambientales y lograr mayor sostenibilidad económica y social. La propuesta se orienta a dos aspectos fundamentales de la construcción: la gestión sostenible del proceso constructivo y las alternativas constructivas para lograr edificios sostenibles. El módulo es correlativo y complementario al módulo Diseño Sostenible, e incluye un trabajo práctico necesario para la aprobación del módulo.

La propuesta de contenidos está estructurada en función de las clases a dictar y comprende los siguientes temas:

1- *Introducción a la Construcción Sostenible*. El objetivo de la clase es analizar las características del proceso de construcción sustentable a fin de identificar medidas para mitigar, eliminar o reducir impactos ambientales y lograr mayor sostenibilidad económica y social. Con este fin se presenta a la construcción como producto, desarrollo y proceso; se relaciona a la construcción sostenible con aspectos de diseño, selección de materiales e impactos en usuarios, y se presenta una introducción a la evaluación, medición y certificación de la Construcción Sostenible en relación con el uso de recursos y los impactos ambientales.

2- *Gestión y certificación de Construcción Sostenible*. El objetivo de esta clase es presentar, analizar y evaluar sistemas de certificación de construcción y gestión sostenible del proceso de construcción del hábitat edilicio. Se describen y analizan métodos de certificación de construcción sustentable utilizados en el mundo como por ejemplo LEED, BREEAM, DGNB y otros.

3. *Construcción Sustentable y Eficiencia Energética*. El objetivo es introducir temas vinculados a la eficiencia energética, su rol en la construcción sustentable, y el análisis de normativas nacionales e internacionales sobre el tema. Se presentan los conceptos de eficiencia energética en edificios sustentables, y un panorama sobre normativa en eficiencia energética, etiquetado, acondicionamiento térmico y aislación térmica. Se explican también someramente conceptos relacionados con el comportamiento térmico de edificios residenciales, comerciales y públicos, conceptualizando los métodos de cálculo de la transmitancia térmica y los requisitos para lograr confort y eficiencia, y cómo se pueden implementar en los casos de nueva construcción y mejoramiento de edificación existente.

4. *Construcción y calidad ambiental de edificios*. En esta clase se exponen alternativas para el control y la evaluación de la calidad ambiental en edificios sustentables, presentando técnicas de medición y normativas de referencia, la gestión de la construcción para lograr control de polución en edificios y los planes de control de calidad de aire en la etapa de construcción y etapa de habilitación de edificios. Se analiza el aporte de la construcción y la gestión de la construcción a la calidad de aire en sistemas de certificación de sostenibilidad.

5. *Gestión de la Construcción Sostenible*. En esta clase se analizan alternativas constructivas para lograr edificios sostenibles en el contexto local. Se presenta el desarrollo de sistemas de control de los impactos de la construcción en Europa, EEUU y la región, el impacto de la construcción en la Evaluación de Impacto Ambiental, el Plan de Prevención de Polución en la Construcción y los impactos de la construcción fuera de los límites de la obra. También se hace mención al contexto

internacional de la construcción sustentable y a los aspectos legislativos vinculados a la construcción sustentable, tales como legislaciones municipales, medios de implementación y control.

6. *Ejemplos de Construcción Sostenible*. En esta clase se presentan ejemplos de proyectos que incluyen estrategias de diseño y medidas de construcción sostenible, buscando identificar medidas de sostenibilidad en edificios complejos aptas para el contexto local. Se mencionan las barreras y oportunidades para lograr Construcción Sostenible y la reducción, mitigación o eliminación de impactos.

Cabe mencionar que resulta un tanto difícil impartir satisfactoriamente este contenido por dos motivos: el primero, la necesidad de compactar los temas abarcados para que puedan ser incluidos en pocas clases; el segundo, sintetizar y al mismo tiempo simplificar esos contenidos en función de alumnos que no provienen de disciplinas profesionales afines a temas de construcción; si bien algunos de ellos son arquitectos o ingenieros civiles, la mayor proporción de los alumnos de las cohortes provienen de otras ingenierías (ambiental, industrial e inclusive forestal), biología, administración e inclusive derecho.

Metodología

El módulo se dicta mediante clases teóricas, incorporando además como disertantes a profesionales con experiencia profesional en el tema. La complejidad de los conceptos impartidos debe ser necesariamente simplificada en función del perfil profesional de los alumnos, y en el dictado se apela a la comprensión de la necesidad de comenzar a construir un hábitat edilicio y urbano sustentable, apelando a la experiencia cotidiana y al sentido común de los alumnos, en su rol de habitantes de espacios urbanos y de los edificios. En ese sentido, se ha planteado un trabajo práctico, de aprobación obligatoria para la acreditación del módulo, cuyo contenido se ha re-elaborado en función de la respuesta obtenida en las sucesivas cohortes.

En las primeras cohortes se propuso como trabajo práctico que los alumnos, de manera individual, presentaran una propuesta para implementar medidas de sustentabilidad en la construcción y producción de hábitat, con una secuencia de análisis que incluía los siguientes puntos:

- Detectar el problema de impacto de la construcción que se propone superar, mitigar o evitar,
- Identificar una iniciativa y desarrollar una propuesta que contribuya a lograr procesos más sustentables en la producción y/o mejoramiento de hábitat.
- Proponer el organismo de implementación, (municipalidad, ONG, organismo profesional o cámara empresarial), identificando los actores involucrados.
- Proponer el tipo de medida, obligatoria o voluntaria, y las etapas posibles en el proceso de implementación
- Indicar los obstáculos o barreras y las oportunidades para lograr el objetivo.
- Explicitar los beneficios que se pretenden alcanzar.
- Desarrollar un criterio de evaluación y el procedimiento de cumplimiento.
- Observaciones y aportes adicionales o complementarios y conclusiones.

Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de estos trabajos fueron poco exitosos considerando que debían reflejar la comprensión de los conceptos impartidos: los alumnos detectaban algunos problemas, de manera muy general, pero siempre focalizaron su propuesta en la gestión de residuos o la eficiencia energética en los sistemas de iluminación, con una limitada identificación de actores involucrados y propuestas también limitadas en cuanto a medidas de implementación. La percepción docente fue que los alumnos se focalizaban en el aspecto que mejor manejaban (gestión de residuos) y cualquier otra propuesta vinculada a la construcción sustentable en general, quedaba fuera de la elaboración del trabajo práctico.

A partir del año 2014 se trató de apelar a las vivencias de los alumnos, "abriendo" un poco más la propuesta de contenidos del trabajo práctico, orientado a presentar una evaluación, comentario, crítica y propuesta, sobre medidas de sustentabilidad en la producción de hábitat, a partir de un enfoque basado en la experiencia individual, vinculado al rol de usuario cotidiano del hábitat construido, independientemente del perfil profesional específico del alumno, excepto en los casos donde pueda vincularse el título profesional al tema del módulo.

Esta apertura del contenido tuvo el efecto de condicionar menos al alumno, ya que se trató de apelar a la posibilidad de mejorar la sustentabilidad de su hábitat construido desde el comportamiento cotidiano; en los resultados, dejando de lado las propuestas más complejas y concretas de aquellos que podían vincular su perfil profesional de grado con el tema, se verificó que, además de la usual propuesta de gestión de residuos, se comenzaron a evidenciar los conocimientos impartidos tanto en el módulo de Diseño Sostenible como en el de Construcción Sostenible: propuestas relacionando orientación urbana y edilicia con la posibilidad de mejorar la eficiencia a través del acondicionamiento natural; identificación, a un nivel muy simple, de patologías constructivas relacionadas con la envolvente edilicia que afectarían la habitabilidad (incluyendo la calidad de aire interior) e inclusive propuestas de implementar sistemas sencillos de energías renovables en el hábitat (colectores solares térmicos, calefones solares), pasando por la incorporación de materiales sustentables o vegetación para mejorar las condiciones del hábitat evaluado.

En el año 2015, en función de las características de la cohorte, donde predominan alumnos provenientes de otros países de Latinoamérica, se buscó además fomentar el intercambio entre los alumnos, dividiéndose el trabajo práctico en dos partes, una grupal (grupos de tres alumnos) y otra de carácter individual, considerando la misma consigna que el año anterior, para poder tomar como punto de partida un sector urbano para llegar hasta el edificio analizado, basando el punteo del análisis en los siguientes aspectos vinculados a la construcción sostenible:

- *Sitios sustentables*: diseño y desarrollo del sitio con control de los impactos ambientales. Se recomendó acotar los alcances al ejemplo analizado.
- *Uso racional de agua*: control de la demanda de agua y reducción de los impactos derivados de su uso.
- *Eficiencia energética*: reducción de la demanda de energía y factibilidad de aplicación de energías renovables.
- *Materiales de bajo impacto*: análisis de los materiales en el entorno construido. Posibilidades de reuso y reciclaje. Residuos y deconstrucción. Comentarios sobre ciclo de vida.

- *Calidad ambiental*: comentarios sobre calidad de aire interior y comportamiento lumínico y térmico en el edificio analizado.
- Aspectos de sustentabilidad no contemplados en puntos anteriores y que se considere conveniente mencionar.

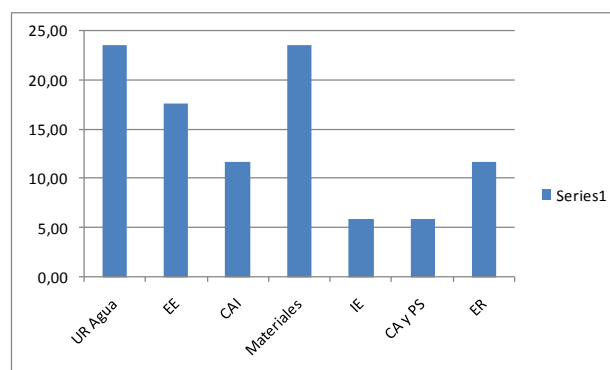
En la segunda parte del trabajo práctico, de carácter individual, la propuesta es tomar uno de los aspectos evaluados y desarrollarlo monográficamente, instancia necesaria para poder calificar individualmente al alumno.

Con respecto a las indicaciones generales, se trata de detectar posibles problemas vinculados a la construcción sustentable en el entorno urbano donde reside habitualmente, de acuerdo a los puntos mencionados en las clases teóricas, tratando de identificar y desarrollar una propuesta (o propuestas alternativas) que contribuya a lograr un hábitat más sustentable, buscando una alternativa de solución a los problemas detectados, sugiriendo además de qué modo podría implementarse la propuesta, identificando cuáles pueden ser los obstáculos o barreras y las oportunidades para lograr el objetivo, y explicitando los posibles beneficios a alcanzar.

La instancia de trabajo grupal se vinculó, en las últimas cohortes, con el trabajo práctico realizado en el módulo correlativo precedente, Diseño Sustentable. En esta instancia los alumnos realizaron el análisis de una manzana de la Ciudad de Buenos Aires, focalizando luego el análisis en un edificio en particular; se evaluó la sustentabilidad del sitio, acceso al sol y a la luz natural, la calidad ambiental a nivel urbano y el uso de los materiales, entre otros aspectos.

En la instancia individual, a diferencia de cohortes anteriores, hubo mayor diversidad de temas en la elección de los alumnos: uso racional del agua, eficiencia energética, calidad de aire interior, materiales de bajo impacto ambiental, impacto de la edificación, control de agua de lluvia y permeabilidad de suelos, y factibilidad de implementar sistemas de aprovechamiento de energía renovable (solar térmico). La distribución porcentual de casos en cada tema, correspondiente a la última cohorte, se muestra en el siguiente gráfico:

Tabla 1. Distribución porcentual de casos por tema elegido.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al material entregado por la cohorte 2015 al momento de la redacción de este artículo, los resultados han sido más completos e interesantes y se ha desarrollado una mayor diversidad de temas, elegidos en relación con la afinidad del campo profesional del alumno. El trabajo en equipo permitió ampliar los alcances del análisis realizado por los alumnos, enriqueciendo el resultado mediante el aporte de los distintos puntos de vista y formación profesional de los integrantes.

Conclusiones

La formación en temas de sustentabilidad es fundamental para lograr avances en estrategias, decisiones e implementación de políticas de instrumentación e integración en el desarrollo sostenible y la construcción del hábitat no es un tema menor dentro de los aspectos o temas que abarca. Introducir conceptos, métodos y estrategias de Construcción Sustentable en la formación académica y profesional es muy importante para favorecer los cambios que requiere ese desarrollo.

Sin embargo, la necesidad de transmitir estos conceptos a alumnos cuyo único vínculo con la construcción es el hecho de habitar un edificio, requiere de simplificar y en muchos temas apelar a las definiciones conceptuales, con algunas menciones a aspectos operativos, ya que el nivel de profundidad que se maneja es hasta cierto punto meramente informativo. Sin embargo, por tratarse de alumnos de posgrado, su nivel de comprensión es sin duda superior al de un público general, en referencia a los conceptos vinculados a la construcción sostenible.

Los resultados mostrados en los trabajos de los alumnos de las últimas cohortes evidencian que, independientemente de su perfil profesional, comprenden que la implementación de medidas de sustentabilidad en la construcción apunta a lograr mejorar las condiciones de uso y conservación de la energía en los edificios que habitan, mejorando la calidad ambiental y el confort para los ocupantes, con un uso eficiente de la energía. Además, descubren que en muchos casos es factible implementar las medidas propuestas con una baja inversión económica, como por ejemplo realizando cambios en las fuentes de iluminación artificial, o bien agregando sistemas sencillos de protección solar o aislación nocturna, mostrándose inclusive proclives a efectivizarlas en sus propias viviendas.

Si bien muchos de los alumnos se volcarán al trabajo profesional en el campo de tecnologías sustentables no vinculadas de manera directa con la construcción de edificios (aunque en muchos casos sí con la construcción del hábitat a una escala mayor o bien en aspectos vinculados al desarrollo de instalaciones para edificios sustentables), es importante la incorporación de los conceptos de sustentabilidad en la formación de las nuevas generaciones de hacedores de hábitat como así también de los usuarios, capacitando a los profesionales y técnicos y orientando el mercado hacia el valor agregado que aporta la producción de un hábitat construido sustentable.

Bibliografía

De Schiller, S. y Evans, J. M. (2010) Desarrollo y sustentabilidad del hábitat construido. SUMMA+. Vol. 108, pp. 96-100.-

Evans J. (2010), Sustentabilidad en Arquitectura 1, CPAU, Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo, Buenos Aires.

Green Building Rating System For New Construction & Major Renovations Version 3, LEED, 2009:
www.usgbc.org -

Kozak D. y Romanello L. (2012), *Sustentabilidad en Arquitectura 2*, CPAU, Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo, Buenos Aires.

LEED NC 2009: <http://www.usgbc.org>

BREEAM: <http://www.breeam.org>

DGNB: [_http://www.dgnb-system.de/es](http://www.dgnb-system.de/es)

Autores

Gabriela A. Casabianca es Arquitecta y Magister en Metodología de la Investigación Científica, Investigadora adjunta del CIHE, SI, FADU, UBA, a cargo del Módulo Construcción Sostenible, ETUS y MTUS, FI, UBA, CABA. e-mail: gacasabianca@yahoo.com.ar

John M. Evans y Silvia de Schiller son Doctores, Arquitectos y Profesores Consultos de la FADU - UBA. Ambos son Directores del CIHE, SI, FADU, UBA y Profesores en el Módulo Construcción Sostenible, ETUS y MTUS, FI, UBA, CABA. e-mail: evansjmartin@gmail.com, sdeschiller@gmail.com

Hacia un diseño constructivo responsable

El desafío de materializar la arquitectura en el mundo que viene

*María Elisa Cremaschi¹, Gustavo Cremaschi², Adrian Saenz, Juan Marezi, Sofía Massa,
Mabel Loscalzo, Julio Caviglioni*

Resumen

El objetivo de este trabajo es exponer la metodología de enseñanza del Taller Vertical de Procesos Constructivos Cremaschi-Saenz en pos de iniciar al alumno en la resolución de problemas mediante el diseño constructivo responsable. Para ello debe estar presente la identidad del área teniendo en claro que el objetivo de la materia no es formar técnicos constructores sino arquitectos con compromiso ambiental y sensibilidad social. Se procura la construcción del conocimiento y la visión global de la materialización de la arquitectura, tratando de comprender a la arquitectura como sistema, promoviendo el “aprender a pensar y decidir”. Se pretende de esta forma, fomentar la responsabilidad de las decisiones constructivas en la generación de calidad de vida para el hombre y el cuidado del medio ambiente. Es así como, “saber plantear el problema”, “construir conocimientos para abordarlo” y “disponer de las herramientas necesarias para expresarlo y facilitar su ejecución”, se establecen como premisas fundamentales del Taller.

Palabras clave: educación universitaria, diseño constructivo, sistema, sustentabilidad.

Towards responsible constructive design

The challenge to materialize architecture in the world to come

Abstract

The aim of this paper is to present the teaching methodology of the degree course of Constructions Cremaschi-Saenz to initiate the student to achieve a responsible constructive design. To this the identity of the area must be present, is important to know that the aim of our degree course is not to train technical builders but architects committed with environmental and social sensitivity. It seeks the knowledge formation and the overall understanding of materialization of architecture, understanding the architecture as a system, promoting "learning to think and decide." In this way, we pretend encouraging the responsibility of constructive decisions in generating quality life for people and environment protection. We concluded that, "knowing stating the problem", "build knowledge to deal with it" and "have the necessary tools to express and facilitate their implementation" are the main objectives of the degree course.

^{1y 2} Laboratorio de Tecnología y Gestión Habitacional (LATEC). Calle 47 N 162 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Teléfono: +54 221 423 6587 al 90 interno 251. latec@fau.unlp.edu.ar

Keywords: university education, construction design, system, sustainability.

Introducción

El taller vertical de Procesos Constructivos de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata, en sus tres niveles, forma parte Área Ciencias Básicas, Tecnología, Producción y Gestión, este es el área académica de las facultades de Arquitectura donde se debe aprender el diseño constructivo, que incluye el proceso de la materialización de la obra. El espacio curricular integra el Ciclo Medio “Formativo”, por lo tanto, recibe los alumnos que han recorrido una primera parte del camino “Introdutorio”, asume el compromiso de ser parte del proceso de “Formación”, y dejará las puertas abiertas a nuevas preguntas, para las asignaturas electivas y el trabajo final “Profesional”.

Tenemos la convicción que la Arquitectura involucra el proceso desde las ideas iniciales que sustentan las decisiones, hasta la materialización, la calidad de vida generada para el hombre, el uso y la evaluación post-ocupacional. Es por ello que nuestra propuesta tiene como objetivo general aportar a la formación de un arquitecto con vocación de servicio, con profundo compromiso social e individual, sensible a las necesidades del hombre, poniendo en consecuencia al servicio del mismo el máximo de su capacidad intelectual, cuidando los recursos que ella tiene y produce. En todo momento debe entonces estar presente la identidad del área teniendo en claro que el objetivo no es formar técnicos constructores sino arquitectos con compromiso ambiental y sensibilidad social. Arquitectos capaces de reconocer a la sustentabilidad como un concepto integral que pretende identificar y desarrollar sus ejes compositivos: Sustentabilidad Social, Sustentabilidad Económica, Sustentabilidad Urbana y Sustentabilidad Tecnológica.

Consideramos de suma importancia poner en relieve la necesidad de que la arquitectura tenga siempre presente el respeto por el medio ambiente y al resguardo del equilibrio biológico de los sistemas del planeta. Dado que, los factores climáticos y meteorológicos, fueron los que, desde el principio de la humanidad hicieron que el hombre buscara la forma de ponerse a resguardo de los mismos en el cotidiano vivir, dando lugar al uso desde accidentes geográficos hasta a envolvente de origen vernáculo; hasta llegar a nuestros días donde la tecnología nos permite satisfacer nuestras necesidades a través del uso de los productos de esas nuevas tecnologías.

Con lo que es de suma importancia, crear en el alumno la conciencia, que un responsable estudio de la biozona de implantación de la obra, no sólo permitirá adoptar las mejores soluciones para enfrentar los desafíos climáticos, sino que permitirá analizar el uso favorable de esos factores en pos de una mayor prestación del edificio (arquitectura bioclimática*3); apuntando a un menor gasto energético en pos del cuidado del medio ambiente (arquitectura sustentable*4). De la comprensión de estas recomendaciones apuntamos a formar un profesional con clara conciencia de que se debe cuidar nuestra casa, la Tierra.

De este trabajo surgirán hombres capaces de integrar ideas, contrastar propuestas, evaluarlas y en un proceso profundo de comprensión y convergencia proponer la o las soluciones apropiadas a un problema, sabiendo que éste es sólo parte de un todo más amplio y que, como parte, debe ensamblarse en ese todo. En otras palabras, un arquitecto comprometido con la realidad argentina,

³ Antes llamada solamente “arquitectura”

⁴ idem

poseedor de un oficio, capaz de resolver los problemas del espacio arquitectónico con capacidad y potencialidades que le permitan asimilar los cambios que la sociedad produce.

Metodología

El crecimiento de la población y el desarrollo tecnológico de nuestros tiempos han originado novedosas formas de confort para los habitantes, lo cual a su vez se traduce en mayor variedad de instalaciones y equipos, y, en consecuencia, en una demanda creciente de energía difícilmente satisfecha por la oferta convencional. Estudios y aproximaciones recientes —como las conclusiones de la Cumbre de Río en junio de 1992, el Protocolo de Kyoto en diciembre de 1997 y la Cumbre de Johannesburgo en 2002— han identificado la necesidad de reordenar y repensar el consumo de energía en el mundo, para reducir así las emisiones de gases al ambiente; también se ha concentrado la mirada en el tema de las edificaciones, responsables del consumo de alrededor de 40% de energía en las ciudades.

En consecuencia, disciplinas como la Arquitectura e Ingeniería se han visto en la necesidad de repensarse en una mayor armonía con el medio ambiente y en consecuencia una reducción del consumo de energía. Una interacción adecuada entre la arquitectura y el medio ambiente debe extraer beneficios de las condiciones climáticas particulares y de los recursos naturales para elaborar soluciones propias, en función de un mayor ahorro de energía sin menoscabo de la calidad de vida. Los criterios de diseño para concebir edificaciones con alta eficiencia energética deben estar dirigidos a privilegiar el acondicionamiento pasivo y la iluminación natural, así como a usar racionalmente el acondicionamiento mecánico cuando las necesidades de uso así lo requieran (Sosa Griffin & Siem, 2004).

Es por ello que, conscientes que el alumno ha sido siempre el sujeto de la enseñanza, nuestros equipos han desarrollado más de 20 años de trabajo siempre la idea de servir a la construcción del conocimiento, convencidos en que este es un proceso de doble sentido, donde desde distintas posiciones las dos partes docente y alumno comparten esta idea de “alimentar”. Fundamentalmente para formar arquitectos con capacidad técnica y vocación de servicio.

Creemos es necesaria una docencia que exceda el marco técnico-conceptual específico para referirlo, adecuadamente balanceado, al marco técnico-conceptual general. Diríamos que desde la materia dentro de la Facultad de Arquitectura pretendemos transmitir una visión arquitectónica de la vida.

Consideramos que la arquitectura es un sistema del cual la construcción es una parte, a su vez subsistema de aquella y sistema en sí mismo. Nos queda claro por ello, que debe tratarse a las partes componentes de la construcción con relación a la arquitectura, al medio físico, a su entorno, a su contexto económico-social, etc., entendiendo que cada elemento puede tener “leyes” o “razones” ciertas y de determinación científica que es imprescindible conocer y que se conjugan (interrelacionan) por medio del diseño arquitectónico con otros elementos de características también únicas o de características con distinto grado de subjetividad (imagen estética, voluntad formal, identidad, etc.). De esta manera el alumno de hoy se capacitará para ejercitar el mecanismo de abordaje a cualquier problema de los tantos que se plantearán en su desempeño profesional.

En concordancia con este concepto, el taller también busca funcionar como un sistema que opera coordinadamente, “en una misma sintonía”, para transmitir al estudiante una homogeneidad conceptual enriquecida por cierto, por los acentos de la personalidad de cada docente, poniendo especial énfasis en la resolución de problemas constructivos mediante el diseño constructivo, pero

teniendo presente la totalidad del problema arquitectónico. Para ello, se plantea un trabajo en equipo donde desde todos los niveles se comparten los mismos objetivos y se presenta un compromiso permanente por parte de los docentes, de estudio y discusión de los temas propios de la materia y el perfeccionamiento de las técnicas de la dinámica de grupo. De esta manera, se tiende a conformar un Taller dinámico, donde es indispensable creer, respetar y querer la transformación que se propone (Figura 1).

Figura 1. Actividades en taller



Fuente: elaboración propia. 2015.

Para poder resolver problemas mediante el diseño es necesario conocer la naturaleza de los mismos, sus leyes y distintas posibilidades de solución que permitan la elección de la tecnología más adecuada. Para que esto sea posible, es necesario que el alumno comprenda la relación entre tecnologías de construcción, uso del edificio, su duración, y su costo de mantenimiento, tanto activo como pasivo, y su vinculación con el concepto de sustentabilidad de la obra de arquitectura. Según el informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente de la ONU, adoptó en el año 1987 y por unanimidad las propuestas plasmadas en el documento “NUESTRO FUTURO COMÚN”, que sintetiza la primer definición de desarrollo sustentable como “Aquel que satisface las necesidades esenciales de las generaciones presente, sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras” (Bruntland, 1988).

Esto se logra mediante la investigación por parte del alumno, el estudio de textos, apuntes, folletos, documentación informatizada, y todo tipo de bibliografía, sumados a los trabajos de campo, las visitas, seguimientos de obras, relevamientos, juegos de simulación, investigación y extensión universitaria (Figuras 2 y 3), con el fin de resolver la documentación constructiva de un ejemplo determinado, en relación a las condicionantes físicas, bioclimáticas, topográficas y contextuales asignadas. A través de la lectura y la investigación el alumno adquiere los conocimientos científico-técnicos necesarios que permitan generar respuestas a las preguntas como: ¿Qué es? ¿Cómo es? ¿Cómo se construye? ¿Cómo funciona? ¿Para qué sirve? ¿Cómo se relacionan entre sí?

Figura 2. Relevamientos



Fuente: elaboración propia. 2015.

Figura 3. Juegos de simulación “Refugios”



Fuente: elaboración propia. 2015.

Todo ello pivoteando en la socialización del conocimiento o dicho de otro modo, posibilitando el juego de la construcción del conocimiento y habilidades en forma individual e inmediatamente compartida para el beneficio de los demás y viceversa, tendiendo a favorecer el crecimiento personal integral y el trabajo en equipo de docentes y alumnos en el taller.

De esa forma se logra que el alumno estudie, analice y aplique soluciones SUSTENTABLES en las resoluciones constructivas. Seleccionando y utilizando tecnologías de bajo impacto ambiental y uso racional de la energía. Proyectando la resolución constructiva que considere más adecuada para los subsistemas, fundaciones, envolvente vertical y cubierta. Diseñando las inter fases que los relacionan, identificando componentes, elementos y materiales. Siempre vinculando los términos sistema constructivo, habitabilidad, condicionantes y sustentabilidad. De esta forma se fortalece y profundiza el desarrollo del PROCESO COMPLETO, como parte inseparable del Proyecto Constructivo.

Para ello proponemos trabajar y producir fundamentalmente en el horario del Taller, unificando las correcciones en grupos según el sitio asignado. Generando un espacio de debate con correcciones y encintadas grupales, donde los alumnos juntos con los docentes trabajen de manera activa. Compartiendo ideas y colaborando con sus compañeros, pudiendo realizar correcciones generales entre alumno - alumno - docente, en las cuáles todos puedan participar y dar sus opiniones sobre otros trabajos, propiciando la construcción del conocimiento colectivo. Es así como, el trabajo de búsqueda e investigación se resuelve individualmente y se comparte luego la información y conclusiones en la comisión a través de exposiciones, debates, y documentación que pasa a ser de carácter colectivo e instrumento de consulta.

Para que esto sea posible, se han puesto en práctica métodos de dictado de clases que aspiran a superar la clásica idea de la “clase magistral” incluso variando en un mismo curso entre ellos evitando caer en el acostumbramiento. Algunos de ellos son: la ejemplificación deductiva (convoca al esfuerzo de pensamiento y participación), la ejemplificación mediante un medio usualmente no reconocido como didáctico (pasaje de películas y videos), el análisis de temas de actualidad de los que se puedan extraer conclusiones referidas a los temas afines a la materia (incendios, derrumbes,

controversias legales, obras de arquitectura de escala regional, obras de infraestructura, emprendimientos productivos) y presentaciones de experiencias de otros arquitectos (Figura 4).

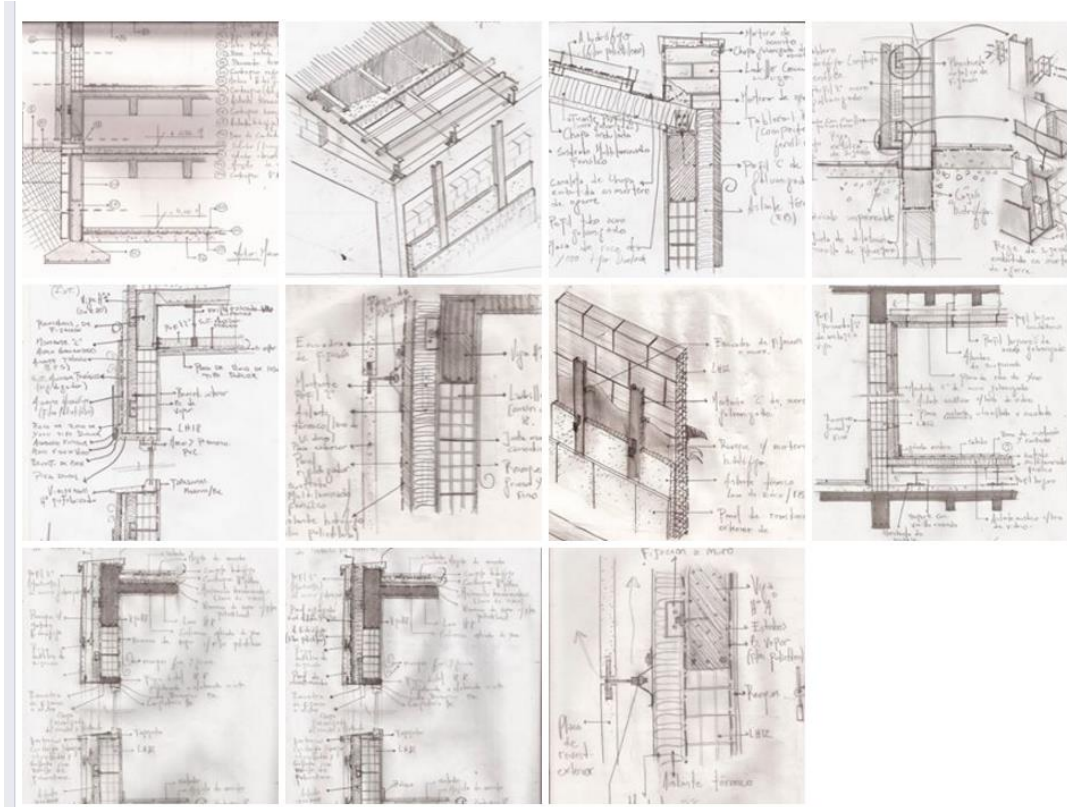
Figura 4. Clases teóricas -arquitectos invitados



Fuente: elaboración propia. 2015.

El cuaderno de bitácora es un elemento esencial para el alumno, el mismo acompañará al alumno durante el desarrollo de los trabajos prácticos del año, en la construcción de saberes y conocimientos. En el mismo se desarrollan bocetos preliminares, croquis, análisis, trabajos de investigación, que son evaluados parcialmente a lo largo del año con las entregas, y en la finalización de la cursada. El documento parcial o final evaluado por el docente puede ser utilizado para la realización de parciales y exámenes finales como bibliografía propia (Figura 5).

Figura 5. Ejemplo de cuaderno de bitácora



Autor: Alumno Mariano Gómez Blanco. 2014.

Si bien la materia se dicta de forma teórico-práctica, es vertiginoso el cambio en las tecnologías de comunicación, lo que nos hizo pensar en la necesidad de generar espacios de contacto adicionales al horario del taller, entre los alumnos y el cuerpo docente, es por ello que se actualizan de manera constante los aportes de los medios informáticos, a través de nuestro blog: www.procesosconstructivos.wordpress.com y de nuestro facebook (Figura 6).

Figura 6. Redes sociales



Fuente: elaboración propia. 2015.

Así mismo, año a año se realizan viajes académicos a diferentes destinos del país con el fin de realizar actividades prácticas (recorridos, relevamientos y talleres) entre alumnos y docentes de otras casas de estudios. Consideramos que estos viajes son de gran aporte y forman parte de nuestra metodología de enseñanza donde la seriedad en las acciones nada tiene que ver con la solemnidad y por el contrario dejan numerosas vivencias, experiencias y educación en responsabilidad y trabajo en grupo (Figura 7 y 8).

Figura 7. Viaje académico a Mar del Plata



Fuente: elaboración propia. 2014.

Figura 8. Viaje académico a Santa Fe



Fuente: elaboración propia. 2015.

Resultados

Al final de cada trabajo práctico el alumno logra tener una evaluación integral, compuesta por el desarrollo del proceso durante la cursada (la actitud, el interés, la participación, las inquietudes, el desempeño, cuaderno de bitácora) y el documento final con los objetivos particulares de cada nivel que fueron logrados, en su conjunto conforman el crecimiento individual y grupal.

En cada uno de los niveles, se analiza el detalle, hasta la última de sus capas, descifrando cada elemento que sea necesario y descomponiendo hasta el límite cada una de las situaciones constructivas y estructurales del edificio. Con ello se procura el aprendizaje y la comprensión global de la materialización de la arquitectura, tratando de aprender con cada caso, las dificultades para poder tener criterio ante las distintas soluciones y alternativas, procurando y promoviendo el aprender a pensar y decidir. Se obtiene así, un conocimiento suficiente de la obra construida y de la práctica necesaria para su construcción, con una visión sistemática y coherente de la arquitectura desde su estructura y su materialización.

En 1º año se logra el reconocimiento del sistema constructivo, la sensibilización hacia la comprensión de los problemas constructivos, la adquisición de lenguaje común relativo a los sistemas constructivos, la identificación de los subsistemas del sistema constructivo, y la introducción al conocimiento científico – tecnológico de los mismos. Introduciendo al estudiante en el análisis de los condicionantes bioclimáticos y topográficos en relación a la arquitectura y a la resolución de problemas conceptuales.

En 2º año se logran resolver problemas estrechamente relacionados a casos reales directamente vinculados a problemas del hábitat y respuestas de la arquitectura. Se incorpora la responsabilidad del diseño constructivo y el comportamiento higrotérmico del edificio, sumada a la identificación del conocimiento registrado por los alumnos de la realidad contemporánea, y el comienzo del camino hacia el compromiso social y ambiental del arquitecto. Se profundiza el abordaje metodológico de identificación de requerimientos y diseño de los subsistemas de la obra de arquitectura.

En 3º año, a partir de la investigación de obras de arquitectura contemporánea, su propuesta de diseño, función, objetivos y recursos, se identifican los procesos de decisiones y las herramientas que han posibilitado su materialización. Además, se logra aplicación de un sistema constructivo industrializado/prefabricado liviano o semipesado, a un proyecto de Arquitectura, incorporando la coordinación modular como herramienta de diseño.

Como se puede observar en los resultados obtenidos, la evaluación comprende el proceso y el resultado: investigación, participación, intercambio, actividades de evaluación parcial, exposiciones, pregunta consultas, aportes al grupo, entregas parciales y finales (Figura 9).

Otra momento, no menos importante, es la promoción a través del examen final (de carácter público), ya que es la instancia que enriquece el proceso pedagógico y genera la oportunidad de ampliar, profundiza, sintetizar e integrar los conocimientos, como hemos expresado anteriormente.

Para minimizar la tensión que toda prueba final innegablemente ocasiona, se realizan desde la segunda semana de febrero hasta la última de noviembre consultas de examen donde el estudiante en reuniones públicas puede realizar la consulta en torno al/los temas que le han despertado durante la preparación de la materia duda o necesidad de profundización.

Nuestro grupo entiende al examen final como una experiencia pedagógica única e irremplazable. Durante el mismo el estudiante realiza fundamentalmente un ejercicio de síntesis. En el mismo presenta la mejor solución al problema presentado por el Taller. Lo hace partiendo de la cumplimentación de uno de los conceptos centrales que intentamos transmitir el “hacer hacer”. En efecto, todo lo que proponga estará destinado a un receptor (el ejecutor de la obra) que será el que “haga” en definitiva. Por ello en ese momento del examen, cada estudiante, aunque esté rindiendo el examen para la aprobación de la primer parte de la materia empieza a obligarse a pensar y pensarse como arquitecto. Ya no dibuja y piensa para él, sino lo hace para un tercero.

Todo este proceso profundamente pedagógico ha sido acompañado por el taller a través de clases de consulta que se realizan en fechas cercanas al examen y permiten al estudiante formular preguntas surgidas durante el proceso de preparación. Además se ha visto también la utilidad de los encuentros para quienes descubren la falta de consolidación de sus conocimientos al compararlos, a partir de las preguntas que se formulan, con los de otros compañeros. Así se logra que se llegue al examen con la carga de tensión lógica de cualquier prueba pero sin la incertidumbre de lo desconocido, muchas veces provocadora de una angustia que ha sido responsable de no pocos fracasos.

Para el Taller el examen final es una instancia pedagógica más, una clase. Lo peor que puede pasar, es que se deba volver a tomarla.

Figura 9. Resultados obtenidos



Fuente: elaboración propia. 2015.

Conclusiones

Consideramos que la mejor manera de superar el actual proceso de empobrecimiento ético y moral, de dependencia económica, cultural y tecnológica, es haciendo el esfuerzo de transformarnos en hombres inteligentes y ayudar a otros en busca de esa misma transformación.

El sinceramiento, el ejercicio permanente del pensamiento, la diferenciación entre voluntad y posibilidad, la aceptación de las diferencias ideológicas, la capacidad de integración social, el reconocimiento y cualificación de las prioridades, son sólo algunos de los conceptos que deben estar presentes permanentemente en la Universidad.

Interpretar y comprender el pasado que nos da origen, el presente que vivimos y como consecuencia el futuro que esperamos es parte de la misión concientizadora de nuestro Taller (Figura 10). Es así como, dada la estructura pedagógica propuesta, “saber plantear el problema”, “construir conocimientos para abordarlo” y “disponer de las herramientas necesarias para expresarlo y facilitar su ejecución”, se viabiliza la formación dinámica y permanente.

No pretendemos ser exclusivos, mucho menos inéditos en la búsqueda de este camino, sabemos del esfuerzo que muchos docentes de la Casa realizan en pos de ese objetivo. Intentaremos aportar desde la materia al ejercicio universitario de unir cada conocimiento técnico con los ¿por qué? y los ¿para qué?. Sabemos finalmente que si no ocupamos este lugar, el paso por la Universidad será intrascendente y por lo tanto innecesario.

Figura 10. Equipo docente del Taller Cremaschi-Saenz



Fuente: elaboración propia. 2015.

Bibliografía

- Branco, S. M. (1999) *Ecosistêmica. Uma Abordagem Integrada dos Problemas do Meio Ambiente*. Segunda edição. Editora Edgard Blücher.
- Brundtland, Gro Harlem (1988) *Nuestro futuro común*. Madrid: Alianza Editorial.
- Freire, Paulo. (2011) *Cartas a quién pretende enseñar*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: SXXI editores. http://www.upa.org.bo/img_usr/Freire%20Cartas%20a%20quien.pdf
- Freire, Paulo; Faundez, Antonio. (2013) *Por una pedagogía de la pregunta*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: SXXI editores. Disponible en: <file:///E:/Descargas/Freire%20&%20Faundez%20-%20Por%20una%20pedagogia%20de%20la%20pregunta.pdf>
- Sosa Griffin, María Eugenia; Siem, Geovanni. (2004) *Manual de Diseño para Edificaciones Energéticamente Eficientes en el Trópico*. Caracas: Instituto de Desarrollo Experimental de la

María Elisa Cremaschi, Gustavo Cremaschi, Adrian Saenz, Juan Marezi, Sofia Massa, Mabel Loscalzo, Julio Caviglioni

Construcción Facultad de Arquitectura y Urbanismo - IDEC/FAU/UCV (IDEC). Disponible en:
<http://idec.fau.ucv.ve/wordpress/wp-content/uploads/2015/09/manual-de-dise%C3%B1o.pdf>

Taller Cremaschi – Saenz (2010) *Propuesta pedagógica. Taller vertical de Procesos Constructivos*. La Plata: Facultad de Arquitectura y Urbanismo – UNLP. Disponible en:
<https://procesosconstructivos.files.wordpress.com/2011/01/propuesta-pedagc3b3gica-2010-cms.pdf>

Autores

María Elisa Cremaschi es Arquitecta, Becaria de Investigación UNLP, estudiante de la Maestría “Paisaje, Medio Ambiente y Ciudad” FAU UNLP y docente de la FAU UNLP. elisacre@hotmail.com

Carlos Gustavo Cremaschi es Arquitecto, Profesor Titular FAU UNLP, Director del Laboratorio de Tecnología y Gestión Habitacional –LATEC- FAU UNLP e Investigador Categoría II. gucremaschi47@gmail.com

Adrian Saenz es Arquitecto y Profesor Adjunto FAU UNLP. adriansaenz@fibertel.com

Juan Marezi es Arquitecto y Jefe de Trabajos Prácticos de la FAU UNLP. marezijuan@gmail.com

Sofía Massa es Arquitecta, Jefe de Trabajos Prácticos de la FAU UNLP, Directora de proyecto de Extensión UNLP e Investigador Categoría IV. sofmass@hotmail.com

Mabel Loscalzo es Arquitecta, Jefe de Trabajos Prácticos de la FAU UNLP e Investigador Categoría V. loscalzomabel@hotmail.com

Julio Caviglioni es Arquitecto y Jefe de Trabajos Prácticos de la FAU UNLP. julio02@yahoo.com.ar

Mejoramiento del hábitat precario

Sofía Massa¹, María Elisa Cremaschi², Paula Misson, María Eugenia Luna, Julia Pantaleón, Carolina Mattarolo, Rafaela Durante.

Resumen

Este trabajo tiene por finalidad presentar la síntesis y conclusiones del proyecto de extensión acreditado por la UNLP: "Asistencia técnica y capacitación en hábitat precario. Asentamientos informales. Villa Elvira. La Plata." Este tipo de asistencia técnica y organizacional sumada al saber popular de la población de escasos recursos de la periferia de La Plata, genera un potencial que revaloriza los saberes -técnicos y populares-, construyendo colectivamente capacidades que apuntan a resolver problemas constructivos reales en un hábitat precario, donde emergen la transformación, el mejoramiento, el aprendizaje, la integración, el respeto, la comunicación, entre otros. Se espera dejar instalada la capacidad de la búsqueda e identificación de la mejor resolución al problema y de resolverlo con acciones coordinadas integrales, hacia mejores condiciones habitacionales y de calidad de vida. A través de este proyecto se pudo confirmar que integrar actividades de docencia, extensión e investigación FAU³ hacia la mejora habitacional es posible y de suma importancia, ya que estas acciones alimentan los ejes principales de la UNLP con formación integral para los alumnos y docentes con compromiso social, y con la posibilidad de visibilizar extensión en la educación de grado y en la comunidad.

Palabras clave: integración, mejoramiento, hábitat, precariedad.

Precarious habitat improvement

Abstract

The aim of this paper is to present the summary and conclusions of the extension project accredited by the UNLP: "Technical assistance and training in precarious habitat. Informal settlements. Villa Elvira. La Plata". This technical and organizational support integrated to the poor people knowledge on the outskirts of La Plata, generates a potential that reassess the -technical and popular knowledge- building collective capacity to resolve real construction problems in precarious habitat, where the transformation, improvement, learning, integration, respect, communication, service and

^{1, 2, 3 y 4} Laboratorio de Tecnología y Gestión Habitacional (LATEC). Calle 47 N 162 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Teléfono: +54 221 423 6587 al 90 interno 251. latec@fau.unlp.edu.ar

others emerge. It is expected setting the identification capability of finding the best resolution of the problem and solve it with integral installed coordinated actions towards better living conditions and quality of life. Through this project, it was confirmed that integrating activities of teaching, research and extension FAU to the housing improvement is possible and very important, as these actions feed the major axes of the UNLP with comprehensive training for students and teachers with social commitment and with the possibility of visible extension in degree courses and in the community.

Keywords: integration, improvement, habitat, precariousness.

Introducción

El proyecto de extensión acreditado por la UNLP: “Asistencia técnica y capacitación en hábitat precario. Asentamientos informales. Villa Elvira. La Plata” se enmarca dentro de la problemática del hábitat y el contexto en el que se desarrolla la vida cotidiana de los sectores populares, a través de los cuales se analizan los problemas habitacionales y sus posibles resoluciones constructivas, entre otros. La elección del barrio San Carlos de Villa Elvira, La Plata, Provincia de Buenos Aires, se basa en el trabajo de casi 10 años en el mismo, desarrollado en el marco de Proyectos de Extensión Universitaria y trabajos de voluntariado.

Los habitantes del Barrio San Carlos presentan necesidades básicas insatisfechas –NBI- y altos riesgos de vulnerabilidad, entendiendo a este concepto como las dificultades que encuentran algunos sectores de la sociedad para su posterior recuperación frente a un evento externo como (Lavell, 1999) como puede ser un suceso natural, características de políticas públicas que benefician a unos o a otros, como así también los requisitos para formar parte de una sociedad o de una ciudad.

Las situaciones habitacionales de las familias de este barrio, se caracterizan por tener graves problemas de desocupación, problemas de salud, familias con numerosos hijos habitando espacios reducidos, asentamiento de sus viviendas en 150 parcelas informales, muchas veces compartidas entre varios núcleos familiares, con problemas estructurales de sostén, de infraestructura, y con resoluciones constructivas precarias: condiciones de aislamientos mínimos necesarios, ventilación, instalaciones, materiales apropiados, graves problemas sanitarios, entre otros.

Es así como, se identifica la posibilidad de asistir técnicamente y capacitar hacia un mejoramiento integral por autoconstrucción, tanto de la vivienda como de algún espacio de uso comunitario; realizando un seguimiento en el proceso de mejora y abordando las necesidades emergentes desde un equipo integral de vecinos/usuarios y técnicos profesionales/equipo de trabajo; siempre teniendo en cuenta la diversidad de enfoques y valoraciones que se presenten al momento de los talleres y encuentros. Para nosotros la Extensión Universitaria permite, en palabras de Paulo Freire “*conocer la realidad, sin conocer palabras*” (Freire, 2008), y es un proceso donde la Universidad se acerca a la comunidad y viabiliza a la vez crecimiento integral de docentes y alumnos. Se produce el intercambio de conocimientos para generar uno nuevo sumando, como lo expone el Centro de Estudios de la Vivienda Económica de Córdoba, “*el saber técnico sumado al saber popular*” ya que se entiende al hábitat como “*un espacio donde la gente se mueve, trabaja, disfruta, sufre, interactúa, multiplica, habita. Por ello el habitante debe ser consultado, es bueno que opine, conviene que evalúe, es necesario que decida, tiene que participar*” (CEVE, 1986).

Este barrio, como en tantos otros barrios informales, posee al género femenino como motivadoras sociales. Las madres son las encargadas de asumir y generar el mayor número de actividades

específicas en cuanto al proceso relacionado con las condiciones precarias de sus viviendas y las posibles mejoras.

Es por ello que este proyecto de extensión tiene como objetivo general aportar hacia la generación de conocimientos teóricos-prácticos en materia de mejoramiento habitacional, mediante talleres participativos e interactivos.

Para lograr este objetivo principal se desarrollaron varios objetivos específicos, tales como:

- Propiciar la generación de espacios y actividades de formación y capacitación, de acción y de gestión hacia el mejoramiento del hábitat popular.
- Desarrollar capacitación teórica y práctica basada en el reconocimiento de problemas habitacionales mediante relevamientos y el desarrollo participativo de propuestas de diseño de mejoras constructivas hacia la búsqueda de la mejor resolución.
- Promover mejoras en las situaciones habitacionales y viviendas, a partir de la capacitación en los talleres participativos, con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes.
- Identificar las estrategias emergentes del apoyo/acompañamiento universitario, para desarrollar las potencialidades de la población con capacidad de respuesta ante situaciones problemas de diferentes índoles, así también como posible inserción laboral.
- Generar y difundir conocimientos en materia de precariedad habitacional y asentamientos humanos en el Gran La Plata desde el desarrollo de actividades de extensión FAU UNLP promoviendo y jerarquizando las mismas.
- Articular a la Extensión con Investigación y con actividades del grado y postgrado, hacia la formación integral del profesional UNLP.

Metodología

Los talleres participativos de capacitación teórico-práctica, propuestos a partir de relevar situaciones de problemas concretos identificados por los propios usuarios, son diseñados para llevar adelante el mejoramiento del hábitat, en este caso precario, apostando a mejorar calidad de vida de sus habitantes. La asistencia técnica y organizacional sumada al saber popular de la población de escasos recursos de la periferia de La Plata, genera un potencial que revaloriza los saberes, construyendo colectivamente capacidades que apuntan a resolver problemas constructivos reales impensados en forma individual, en palabras de Victor Pelli construir con el vecino "*estar a su lado y estar de su lado*" (Pelli, 2003). El Proyecto se desarrolló en un tiempo de nueve meses y no en un camino unidireccional. La metodología implementada se compone de cinco momentos principales, que se enumeran a continuación:

1. Generación espacios de interacción con los vecinos y reuniones en lugares comunes:
 - a) Convocatoria barrial. Diálogo con vecinos y referentes barriales. Invitación a los talleres participativos.
 - b) Presentación de equipo FAU a comunidad de vecinos. Registro de necesidades reales y sentidas. Relevamiento de inquietudes. Necesidades con prioridad de intervención.

- c) Organización de talleres de capacitación teórico-prácticos hacia el mejoramiento y completamiento del hábitat según problemáticas constructivas. Aplicación práctica de los conocimientos en el mejoramiento de algunas situaciones conflictivas tanto individuales como colectivas (Figura 1).

Figura 1. Equipo de Extensión. Dialogo con vecinos y Organización de Talleres.



Fuente: Fotografía de los autores. 2015.

2. Relevamiento en conjunto con docentes, alumnos y vecinos de casillas o situaciones habitacionales pre seleccionadas (Figura 2).

- a) Confección de planos. Registro gráfico y fotográfico. Sistematización de información.
- b) Organización de trabajo de campo, recolección de herramientas y materiales a utilizar.
- c) Elaboración de cómputos y presupuestos.

Figura 2. Relevamientos.



Fuente: Fotografía de los autores. 2015.

3. Diseño y puesta en marcha de talleres de capacitación teórico-prácticos con asistencia técnica según temas propuestos por los vecinos de acuerdo a necesidades puntuales (Figura 3).

Figura 3. Talleres de capacitación teórico-prácticos con asistencia técnica



Fuente: Fotografía de los autores. 2015.

- a) Elaboración de documentación de apoyo de los talleres, tales como fichas técnicas, planos, entre otros; a fin de garantizar transferencia y su posterior replicabilidad.
 - b) Acciones de mejoramientos como práctica de los talleres.
 - c) Articulación con alumnos y docentes del taller de Procesos Constructivos Cremaschi-Saenz. Nivel II.
4. Organización de jornadas de integración entre la cátedra de Procesos Constructivos Cremaschi-Saenz y los vecinos del barrio, para llevar adelante acciones prácticas de mejoramientos en el Centro Comunitario Refugio de Amor o casos seleccionados.
- a) Establecimiento de acciones prioritarias y gestiones de las mismas.
 - b) Difusión en el taller de grado las actividades de extensión a realizar.
 - c) Realización de jornadas integrales de un día completo de trabajo (Figuras 5).
 - d) Articulación de actividades de extensión con el grado: docentes y alumnos.
 - e) Divulgación en congresos y jornadas (Figura 6).
 - f) Difusión en redes sociales.

Figura 5. 1º y 2º Jornada de Integración.



Fuente: Fotografía de los autores. 2015.

Figura 6. Divulgación en congresos. Arquisur 2015.



Fuente: Fotografía de los autores. 2015.

5. Registros fotográficos y escritos permanentes de todas las acciones de extensión del proyecto, para la autoevaluación, sistematización y ajuste del proceso. Documentación general.

Resultados

Desde el 2003 el equipo participa ininterrumpidamente de actividades de extensión en proyectos y programas FAU-UNLP implementando metodologías participativas con vecinos de barrios y asentamientos precarios de la periferia de la ciudad de La Plata, hacia la generación de mejoras en la calidad de vida. Estas actividades de producción social del hábitat, en las cuales se aplican conocimientos científicos- tecnológicos sumados al saber popular de los vecinos -desarrollando sus potencialidades y revalorizando sus saberes- sirvieron para mejorar y resolver problemas constructivos reales aumentando las capacidades de los habitantes y fortaleciéndolas, como así también, para alimentar investigaciones y actividades del grado y postgrado hacia la formación integral de cada uno de los integrantes del equipo FAU.

En los últimos años -2011 al 2014- se han desarrollado actividades integrales de extensión sumando a la cátedra de Procesos Constructivos Cremaschi, Marsili, Saenz ejecutando tareas de construcción puntuales hacia mejoras de espacios comunitarios con los vecinos, alumnos y docentes del taller.

El amplio conocimiento de éstos –familias, centros comunitarios, comedores, características generales, entre otros- facilita la realización del trabajo en campo: talleres participativos, actividades prácticas de autoconstrucción, asistencia técnica y capacitaciones varias, como así también, entrevistas, encuestas, charlas formales e informales, relevamientos de las situaciones habitacionales precarias con problemas constructivos, generando clima de respeto y compromiso, garantizando las actividades programadas. Asistencia Técnica y Capacitación, como fortalecimiento tanto individual como grupal, hacia la mejora de los espacios, teniendo muy presente que estos resultados esperados no se obtienen de manera lineal, sino que a partir del camino a recorrer y las situaciones y necesidades reales que se presentan en el día a día, van construyendo y alimentando el proceso.

Los resultados positivos –para los vecinos y equipo FAU- tienen que ver con el crecimiento personal, con crecer a partir de la capacitación y el mejoramiento de alguna situación física y su posterior transferencia; los talleres participativos garantizan resultados tangibles e intangibles. Es necesario que los vecinos se sientan interesados en participar activamente, en compartir y en ser solidarios y respetuosos.

Resultados tangibles: mejoramiento, rehabilitación y recuperación participativa del hábitat popular, tanto en espacios privados como de uso comunitario: ej. Ampliación y mejoramiento del Centro Comunitario “Refugio de Amor”: a partir de acciones colectivas sobre el proyecto y su materialización. Armado y construcción de sistema de evacuación de líquidos cloacales, por medio de pozo absorbente. Además de promover el autorelevamiento, y el relevamiento de los técnicos de diferentes situaciones habitacionales del barrio, generando herramientas de gestión para la materialización de los mejoramientos por autoconstrucción.

Resultados intangibles: crecimiento personal, grupal y barrial. Capacidades instaladas en el colectivo social a partir de la co-construcción de saberes. Desarrollo de potencialidades de los vecinos, revalorizando los saberes previos y fomentando los saberes compartidos. Capacitación técnica teórica-práctica integral a vecinos de los barrios y miembros FAU. Difusión y promoción de las

actividades de extensión universitaria. Transferencia en la FAU, a Investigación y al grado y postgrado.

Todo el camino – desarrollado hasta la fecha-, sirve para poder apuntar a reorganizar próximas tareas y mejorar metodologías, actividades y retroalimentar situaciones con el grado y la investigación

Es importante aclarar que la situación generada en la 1ª Jornada integral con el Taller de Procesos Constructivos Cremaschi-Saenz, donde alumnos de nivel 1 se involucraron con el proyecto al donar materiales, fue el puntapié inicial de los mejoramientos realizados en varias situaciones habitacionales realmente precarias. Así mismo –estas actividades- retroalimentan al curso de grado y visibiliza actividades de extensión. La donación de materiales no estaba programada en la formulación inicial del proyecto como tal, es por eso que se apunta al desarrollo esquemático de proyectos de extensión que tiendan a afinar actividades conjuntamente con la comunidad y en los tiempos reales de desarrollo.

Para que estos resultados sean posibles se llevaron a cabo diversas acciones participativas: inclusión del vecino en las decisiones a través de la elaboración de propuestas y posterior priorización de las acciones a llevar a cabo, organización de proyectos y estrategias de diseño y de gestión; participación de los vecinos en los talleres de capacitaciones técnicas teórico-prácticas, temas según prioridad detectada por los participantes; mejoramiento y revalorización de la vivienda y del entorno, registrado mediante un seguimiento activo del proceso; elaboración de relevamientos y auto-relevamientos; integración de Extensión, Docencia e Investigación, como retroalimentación permanente hacia la construcción de conocimientos y la formación integral con compromiso social.

Conclusiones

Para concluir, el equipo de extensión quiere hacer hincapié en el desarrollo de una acción que se fue modelando a medida que entraron más protagonistas a escena, reforzando la idea de que las tareas, metodología y resultados son construidos en conjunto con los actores, y no como estructura cerrada y lineal de las tareas de extensión.

Los talleres participativos habían comenzado su curso en el Centro Comunitario “Refugio de Amor” con relevamientos, con identificación de situaciones habitacionales precarias urgentes para proyectar mejoras y coordinar acciones en función de las mismas, antes de que el frío sea una variable negativa más a considerar como urgente.

Paralelamente en el taller de Procesos Constructivos Cremaschi-Saenz –donde gran parte del equipo extensión comparte tareas en docencia-, se estaba desarrollando una actividad práctica en nivel I, hacia el diseño constructivo y materialización de un espacio habitable “El Refugio”, con un acercamiento intuitivo al concepto de sistema. Varios proyectos por comisiones fueron seleccionados para su construcción en el patio de la FAU donde los alumnos se encargaban de acercar de los materiales necesarios.

El Trabajo Práctico tenía ejes de reflexión como los aportes conceptuales: sistema y subsistemas, donde la sustentabilidad, el reciclado, la re utilización de los materiales, el desarmar por el demoler, costos, entre otros; fueron los disparadores para pensar que una acción temporalmente corta en la FAU extendiera sus límites y continúe en Villa Elvira con acciones conjuntas de extensión. Flete de por medio, los materiales cargados por alumnos FAU, fueron recibidos por vecinos del barrio San

Carlos (Figura 7). En el Centro Comunitario las mamás realizaron inventario y se priorizó -plantear al equipo- desarrollar tareas de mejoramiento constructivo en las casitas de Ángela y de Natalia como urgentes.

Es así como se integran acciones de docencia, extensión e investigación FAU hacia la mejora habitacional particular como resultado tangible. Estas acciones alimentan los ejes UNLP con formación integral para los alumnos y docentes con compromiso social, con la posibilidad de visibilizar extensión en el grado y en la comunidad, con la incorporación de docentes en tareas de extensión, con la riqueza de las acciones aportando a las investigaciones o becas, con resultados intangibles de crecimiento exponencial.

Se coordinó la primera jornada integral participativa entre la FAU y Vecinos del Barrio, hacia mejoras en la casa de Ángela. Alumnos y docentes del taller Cremaschi-Saenz fueron invitados, y junto a las mamás se realizaron tareas de mejoramientos consistentes en la mejora estructural de la casilla de madera, la colocación de una aislación hidrófuga y un aislante térmico, con terminación interior de madera. Mejoras en las aberturas, en vanos y huecos que no contaban con protección alguna, se mejoró la tabiquería interior de separación de locales de madera, entre otros. Al finalizar las tareas, se identificaron situaciones que la familia de Ángela debiera seguir para poder avanzar en una próxima jornada en la casa de otro vecino: la de Natalia.

La jornada dejó gran satisfacción, no sólo a la familia de Ángela, sino al equipo y mamás que llevaron a cabo el mejoramiento. Y por otro lado, al equipo FAU de docentes y alumnos, gran motivación y contagio para generar nuevas situaciones de trabajo solidario.

Figura 7. Donación de materiales Taller Cremaschi - Saenz.



Fuente: Fotografía de los autores. 2015.

Es por esto y más, que el equipo identifica como prioritario el desarrollo de talleres que aportan a la mejora del hábitat popular, logrando capacitaciones teórico-prácticas con proyección en posible salida laboral, mejoramiento y/o completamiento de la vivienda/situación habitacional y de los espacios de usos comunitarios y entorno barrial, y por sobre todo, la ampliación de la formación con compromiso social del equipo de extensión y la transferencia a docencia e investigación (Figura 8).

Compartimos lo expuesto por la Arq. Luciana Marsili: *"el protagonismo del habitante en la construcción sustentable del hábitat, es particularmente importante para generar el mejoramiento adecuado de la vivienda y su entorno. Su participación responsable, a partir de su inclusión desde los primeros pasos del proceso decisorio en búsqueda de alternativas al problema integral de vivienda, aprender a escuchar y ser escuchado, con el asesoramiento técnico comprometido genera oportunidades de crecimiento sostenido y sostenible"* (Marsili, L. et al., 2012). Trabajar en equipo,

comprender las necesidades, capacidades y conocimientos de los diferentes actores que construyen la ciudad posibilitará generar alternativas superadoras contribuyendo a la mejora del hábitat y la calidad de vida de sus habitantes.

Figura 8. Equipo de Extensión FAU + Vecinos del Barrio.



Fuente: Fotografía de los autores. 2015.

Bibliografía

CEVE, C. d. (1986). *Los que habitan tienen la palabra*. Córdoba, Argentina.

Freire, P. (2008). *Pedagogía de la esperanza*. Siglo XXI editores.

Lavell, A. (1999). Vulnerabilidad social: una contribución a la especificación de la noción y sobre las necesidades de investigación en pro de la reducción del riesgo. *Reducción de la Vulnerabilidad Social*.

Marsili, L. et al. (2012). Evolución y densificación del hábitat informal. Estrategias de transferencias de conocimientos tecnológicos sustentables. *5º Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura*. Buenos Aires.

Pelli, V. (2003). La necesidad como basamento técnico y político de la gestión habitacional. *Revista AREA 11, FADU, UBA*.

Autores

Sofía Massa es Arquitecta, Jefe de Trabajos Prácticos de la FAU UNLP, Directora de proyecto de Extensión UNLP e Investigador Categoría IV. sofmass@hotmail.com

María Elisa Cremaschi es Arquitecta, Becaria de Investigación UNLP, estudiante de la Maestría "Paisaje, Medio Ambiente y Ciudad" FAU UNLP y docente de la FAU UNLP. elisacre@hotmail.com

Paula Misson es Arquitecta y docente de la FAU UNLP. argmisson@gmail.com

María Eugenia Luna es Arquitecta, estudiante de la Maestría "Ciencias del Territorio" FAU UNLP y secretaria técnica del Laboratorio de Tecnología y Gestión Habitacional –LATEC– de la FAU UNLP. arqlunaeugenia@gmail.com

Sofía Massa, María Elisa Cremaschi, Paula Misson, María Eugenia Luna, Julia Pantaleón, Carolina Mattarolo, Rafaela Durante

Julia Pantaleón es Arquitecta, Becaria de Investigación UNLP, estudiante de la Maestría “Ciencias del Territorio” FAU UNLP y secretaria técnica del Laboratorio de Tecnología y Gestión Habitacional – LATEC- de la FAU UNLP. juliapantaleon@gmail.com

Carolina Mattarolo es Arquitecta y docente de la FAU UNLP. carolinamattarolo@hotmail.com

Rafaela Durante es estudiante de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNLP.
rafaeladurante2@gmail.com

Autores

Abades, Irma soledad
Adriani, Lila
Agüero, Matías
Alchapar, Noelia L.
Angiolini, Silvina
Avalos, Pablo
Balmaceda, María Emilia
Bellagio, Zoraida
Blasco Lucas, Irene
Bordachar, Florencia
Bracco, Daniela
Brandi Branchetta, Marilina
Cabello Eras, Juan José
Camporeale, Patricia Edith
Cantón, María Alicia
Carestia, Carina
Carossia, Estela de Lourdes
Caruso, Susana
Casabianca, Gabriela A.
Castillo, Ana Laura
Castro, María Silvia
Caviglioni, Julio
Celiz, Yuliana
Cerasuolo, Natalia
Cervera, Rafael
Cespi, Analía V.
Colombo, Elisa M.
Compagnoni, Ana María
Correa Cantaloube, Erica N.
Cózar Cózar, Elías
Cremaschi, María Elisa
Cremaschi, Gustavo
Czajkowski, Jorge Daniel
de Gastines, Maureen
de Schiller, Silvia
Di Giuseppe, Marcos
Diulio, María de la Paz
Durante, Rafaela
Eisenbeil, Claudia
Español, Ariel O.
Espín Pérez, Mario Jesús
Esteves, Alfredo
Evans, Julian M.
Evans, John M.
Filippín, Celina
Flores Asin, J. Emiliano
Flores Cáceres, María Rosario
Flores Larsen, Silvana
Frank, Alción Alonso
Freaza, Nadia
Fuente, Rodrigo
Furno, Federico
García Santa Cruz, Mauro Gabriel
García Santa Cruz, María Jimena
Garganta, María Laura
Garzón, Beatriz
Gatani, Mariana
Giglio, Mónica A.
Giobellina, Beatriz
Giuliano, Gabriela
Giusso, Cecilia
Gómez, Emiliano
Gómez, Analía Fernanda
González, Marina
Guevara, Anahí
Ibáñez, Viviana
Jensen, Karina
Jerez, Lisardo
Jones, Brian
Kirschbaum, Carlos
Kozak, Daniel
Lasagno, Cecilia M.
Lattuca, Ana Paula
Loscalzo, Mabel

Luna, María Eugenia
Madrigal Monzón, José Alejandro
Mallo, Andrea C.
Manrique, Silvana
Mansilla, Gabriela
Marezi, Juan
Mariano, Guillermo Omar
Maristany, Arturo
Marquez, Felipe
Martinez, Claudia F.
Martínez, Cecilia Fernanda
Mas, Jorge
Massa, Sofía
Mattarolo, Carolina
Mattioli, Luisa
Mazzocco, María Pía
Medina, Susana
Medina, Darío
Meneses, Romina S.
Mercader Moyano, María del Pilar
Mesa, Néstor Alejandro
Misson, Paula
Montero, María C.
Moro, Juan M.
Murace, Pablo Esteban
Nitiu, Daniela S.
Obando, Jesús
Omelianyuk, Sonia E.
Ortega, Néstor F.
Pacharoni, Ana
Páez, Gustavo
Pantaleón, Julia
Paterlini, Leonardo
Pattini, Andrea Elvira
Pecora, Nicolás
Pérsico, María E.
Pisano, Javier
Plaza, Julia Elena
Pochi, Ana V.
Pomazán, Sara
Ponce Arancibia, Natalia
Priano, Carla V.
Putruele, María Belén
Ramallo, Eugenia
Ramírez de Arellano Agudo, Antonio

Ré, María Guillermina
Reboredo, Javier
Reus Netto, Gabriela
Rodríguez, Roberto G.
Rodríguez, Claudia
Ruesga Díaz, Daniel José
Ruiz, María Angélica
Rumi, Lucia
Saenz, Adrian
Sánchez Arrabal, María Beatriz
Sanchez Cifuentes, Augusto
Sanguinetti, Clara
Schwarz, Andrés Fernando
Señas, Lilia N.
Serafini, Carla Cecilia
Soldati, Elisa
Sosa, María Belén
Souza, Luciano
Tarulli, Gabriela
Testa, Eliana G.
Tomadoni, Micaela
Ulacia, Andrea
Vazquez, Jorge A.
Villalba, Celina
Walter, Erika
Watkins, María Gabriela
Yajnes, Marta E.
Yamin Garretón, Julieta A.
Zulaica, Laura



Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Universidad Nacional de La Plata

Mayo de 2016

MAIN SPONSOR



SPONSOR



AUSPICIAN



ADHIEREN



MEDIA PARTNER



TRANSPORTADOR OFICIAL



TRANSPORTE TERRESTRE

