ACTA DE LA XLVII REUNIÓN DE TRABAJO

VOLUMEN 12
AÑO 2025

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y AMBIENTE

Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente

ACTA DE LA XLVII REUNIÓN DE TRABAJO

Vol. 12 Año 2025
ISBN 978-987-29873-1-2
Secciones 1 a 9

ASADES

Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente

COMISIÓN DIRECTIVA

Presidente: Pablo Dellicompagni
Secretaria: Rita Mónica Abalone (01/11/2023 a 26/08/2025; Marcos Hongn
Tesorera: Verónica Javi
Vocales: Camila Binda Galíndez; Ismael Eyras

COMISIÓN REVISORA DE CUENTAS

Aien Salvo
Mariana Tamasi
Mariela Videla

COMISIÓN DE PUBLICACIONES

Directora
Martínez Bogado, Mónica
Consejo Editorial
Cadena, Carlos

COMITÉ EDITORIAL

Graciela Viegas, Jésica Esparza, Guillermina Re, Ismael Eyras, Pedro Chevez, Julieta Balter, Jorge Barral, Alba Lema, Julio Durán, Mariela Videla, Sonia Esteban, Andrés Díaz, Rocío Guido, Santiago Fondoso Ossola, Marcos Hongn, Camila Gea Salim, Aien Salvo, Juan Francisco Linares, Rodrigo Alonso-Suárez, María José Denegri, Verónica Javi, Camila Binda, Mónica Pasculli, Pablo Dellicompagni, Martín Zoloff Michoff

COMISIÓN ORGANIZADORA

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC, CONICET-UNLP). Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU). Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

Gustavo San Juan. Irene Martini. Graciela Viegas. Rocio Salas Giorgio. Jimena Lacunza. Camilo Vazquez Wlasiuk. Rocio Rodriguez Tarducci. Pilar Bilbao. Santiago Fondoso. Emilia Urteneche. Micaela Seltzer. Daniela Cortizo. Camila Arregui.

Programa Provincial de Incentivos a la Generación de Energía Distribuida (PROINGED), dependiente del Foro Regional Eléctrico de Buenos Aires (FREBA). Subsecretaría de Energía del Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos (MIySP) de la provincia de Buenos Aires.
PROINGED: Ricardo Lospinatto. Paola Turón. Adriano Boragina. Andrea Méndez. Ramiro Borga. Nicolás Silva. FREBA: Fernando Pini. Lisandro Gordillo. Marina Lugones

COMITÉ CIENTÍFICO

Graciela Viegas, Gustavo San Juan, Jorge Barral, Julio Durán, Mariana Tamasi, Rafael Oliva, Sonia Esteban

APOYO TÉCNICO INFORMÁTICO

Tolaba, Miguel - Troviano, Mauricio

COMITÉ EVALUADOR

Abal, Gonzalo; Abeledo, Sebastián; Alamino, Yesica; Alamino Naranjo, Yesica; Alchapar, Noelia; Alessio, Agustín; Alias, Herminia; Alonso Frank, Alción; Altobelli, Fabiana; Álvarez, Analía; Andreoni, Soledad; Aramayo, Cristian; Arévalo, Carla; Arrieta, Gabriela; Ávila, Graciela Noemí; Bahamonde, Pablo; Barbero, Dante; Barral, Jorge; Barea, Gustavo; Bazán, Natalia; Becchio, Valentín; Belmonte, Silvina; Bertossi, Marcelo; Birche, María Belén; Boccaccini, Luis; Boragina, Adriano; Boutet, María Laura; Bove, Italo; Calderón, Andrea; Calvo, Ángel; Cadena, Carlos A.; Céspedes, Carlos German; Chemes, Jorge; Chevez, Pedro; Cisterna, María Susana; Clementi, Luciana; Clavijo, Araceli; Corica, Lorena; Correa, Erica; Cortizo, Daniela; Costa, Rodrigo; Coutsiers, Ernesto; D'Amanzo, Micaela; De Prada, Rodrigo; Dellicompagni, Pablo; Díaz, José Alberto; Diulio, María Paz; Dicroce, Luciano; Díscoli, Carlos; Durán, Gonzalo; Durán, Rodrigo; Esteves, Alfredo; Esteban, Sonia; Esparza, Jesica; Farfán, Roberto Federico; Fernández, Amalita; Filippín, Celina; Filipovich, Ruben; Flores Larsen, Silvana; Fondoso, Santiago; Franco, Judith Ada; Freaza, Nadia; Furtado, João Victor; Galimberti, Pablo; Ganem, Carolina; Garnica, Javier; Gea, Marcelo; Georgetti, Leandro; Giubergia, Jorge Horacio; Gómez, Gabriel; González, Mario; González, Silvina Mariana; González, Adrián; Gonzalo, Guillermo; Guerrero, Elsa Marcela; Gutiérrez, Ricardo Alberto; Hernández, Alejandro; Hessling, Franco; Hongn, Marcos; Iribarnegaray, Martín; Ise, María Alejandra; Jacinto, Guillermina; Jacobo, Guillermo; Jensen, Karina; Kuchen, Ernesto; Krautner, Alejandro; Krautner, Alejandro Javier; Laguarda, Agustín; Larson, Anahí; Leveratto, María José; Lobo Maza y Ramito, Flavia; Lozada Montanari, Malena Sol, Luccini, Eduardo; Luccini, Martín; Lusi, Anabela; Mathisson, Juan Francisco; Martínez Bogado, Mónica; Mercado, María Victoria; Michaux, Celina; Michaux, María Celina; Miguel, Sebastián; Milanesio, María Virginia; Mora Fresca, Carlos Eduardo; Morris, Jonathan; Nores Pondal, Federico; De Oliveira Filho, Manoel Henrique; Orsi, Ximena; Orte, Facundo; Oviedo, Oscar; Pedace, Roque; Pérez, María Dolores; Pontin, María Isabel; Quiñonez, José; Ramos, Ivana Rearte, Martin; Righini, Raúl; Rizzo, Ana; Rodríguez, Lucas; Rodríguez, Judith; Rodríguez, Ramiro Rodríguez, Lucas Gastón; Rojas Villena, Mónica Mireya; Saletta, María José; Salazar, Germán; Salazar Acosta, Luisa María; Salvo, Aién; Salvo, Nahuel; Sánchez Amonio, María de la Paz; San Juan, Gustavo; Chaz Sardi, María Celeste; Serrano, Víctor Hugo; Sphar, Germán; Spivak L'Hoste, Ana; Stagnitta, Roque; Stefanini, Valentín Antonio; Stern, Valeria; Suarez, Pablo; Szwarc, Gerardo; Tanducci, Rocío; Taretto, Kurt; Teixeira-Branco, Vivian; Teliz, Erika; Urteneche, Emilia Valdez, Marcelo Federico; Vera, Luis; Viego, Valentina; Viegas, Graciela Melisa; Vilela, Olga; Vilte, María del Socorro; Villar, Gonzalo; Villanueva, Solange Noelia; Vitale, Gerardo; Weht, Rubén; Zitzer, Alejandro

Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente - ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (volumen 12), La Plata, Buenos Aires, 28 al 31 de octubre de 2025.

La Plata, octubre de 2025

ÍNDICE

1. ARQUITECTURA AMBIENTALMENTE CONSCIENTE Y HÁBITAT

CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y GESTIÓN ADAPTATIVA EN AULAS UNIVERSITARIAS: REVISIÓN NORMATIVA Y ESTUDIO EXPLORATORIO EN MENDOZA
María Cecilia Molina, Carolina Ganem, Gustavo Javier Barea Paci **7**

COMUNIDADES DE EDIFICIOS DE ENERGÍA CERO NETA (NZEB) EN CLIMAS DE ALTO RECURSO SOLAR: REVISIÓN DE CO-BENEFICIOS PARA USOS MIXTOS EN MENDOZA
Micaela D'Amanzo, Carolina Ganem-Karlem, María Victoria Mercado **19**

ISLA URBANA DE CALOR: PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DESDE ESTRATEGIA SOCIO-CULTURAL Y ECONÓMICA-COOPERATIVA PARA LA ACCIÓN COMUNITARIA EN ESPACIO PÚBLICO DE CIUDAD DE LA RIOJA
Gerardo Oviedo, Rodolfo Dematte, Josefina Huespe **32**

IMPACTO DE LA ORIENTACIÓN Y DEL PORCENTAJE DE FACHADA VIDRIADA (WWR) EN UN MONOAMBIENTE EN LA CIUDAD DE ROSARIO MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA
Lucila Allori, Jésica Álvarez, Soledad Arana, Daniela Chiarito, Gabriel Chiarito, Wanda Gómez Carmana, Guadalupe González, Aimé Muriel, Eugenia Turdó **44**

2. ENERGÍA SOLAR: APLICACIONES TÉRMICAS, AGRÍCOLAS, QUÍMICAS E INDUSTRIALES

MODELO UNIDIMENSIONAL PARA LA SIMULACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL FLUIDO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO
Marta R. Laspiur, María Vilte, Sonia Esteban, Germán Salazar, Adrián Rovero **54**

MEJORA TECNOLÓGICA DE UN DESTILADOR SOLAR DE BATEA CON RESISTENCIA ELÉCTRICA CONTROLADA
Carlos Fernández, Emilce López, Gonzalo Ortíz, Alejandro Hernández **65**

TESTEO DE DOS MODELOS EDUCATIVOS DE CALENTAMIENTO DE AGUA SOLAR PARA LA ESCUELA 4.078 DE VAQUEROS, SALTA
Andrés Emanuel Díaz, Nicolás Di Lalla, Emanuel Armata, Emanuel Montaño, Ricardo Tolaba y Alejandro Hernández **77**

3. ENERGÍA SOLAR: CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA

MÉTODO PARA EVALUAR LA ENERGÍA INYECTADA Y CONSUMIDA DESDE LA RED EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL DEL NORDESTE ARGENTINO
Hugo D. Zurlo, Bettiana A. Virgona, Leonardo G. Barabas, Gustavo R. Figueredo **86**

EL EMPLEO DE LA SUPERFICIE TECHADA PARA LA PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA. UNA REVISIÓN COMPARATIVA DE MÉTODOS, ESTRATEGIAS Y ENFOQUES
Rodrigo J. Durán, Mauro Montone, Danae A. Franco Lopera, Miguel A. Condorí **98**

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CAMPUS UNIVERSITARIO CON PLANTA FOTOVOLTAICA
Daniel Cabrera Díaz, Luis I. Silva, Cristian H. De Angelo, Martín S. García, Francisco J. Fernández **111**

4. ENERGÍA EÓLICA, GEOTÉRMICA, MAREOMOTRIZ, HIDRÁULICA, BIOMASA Y BIOGÁS

POZO CANADIENSE EN UNA VIVIENDA UBICADA EN CITY BELL - Desde el proyecto hasta la puesta en funcionamiento
María Belén Birche, Julián Carelli Cerdá, Jorge Daniel Czajkowski **123**

5. USO EFICIENTE Y RACIONAL DE LA ENERGÍA

MEDIDAS DE BAJO COSTO PARA AHORRAR ENERGÍA EN INVIERNO: PLÁSTICO CON BURBUJAS
Pablo Romero, Jorge Fiora, Pedro Cozza, Luciana Oddo, Hernán Baulo Darhanpe, María E. Corso, Italo Bove Vanzulli, Salvador Gil **135**

CARACTERIZACIÓN DE PATRONES DE CONSUMO ELÉCTRICO E INSERCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNER
Francisco J. Fernández, Martín S. García, Luis I. Silva, Cristian H. De Angelo **146**

OBRAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS MUNICIPALES. LA EXPERIENCIA DEL PROGRAMA EUROCLIMA EN ARGENTINA
Horacio Martino **157**

GESTIÓN EFICIENTE DE RESERVAS HÍDRICAS EN HOTELES UTHGRA LOS COCOS (CÓRDOBA- ARGENTINA) MEDIANTE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS CON ENERGÍA SOLAR
Cecilia Chosco Díaz, Laura Cardozo, Diego Bustos, Patricia Mantovano **169**

ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR LOS USUARIOS DE BAJA TENSIÓN
Adrián D´Andrea, Walter Giménez, Carlos G. Pacheco, Ciro T. Ruffinatto **182**

7. RADIACIÓN SOLAR Y CLIMA

MEJORAS Y DIGITALIZACIÓN DE UN RADIÓMETRO FOTOVOLTAICO DE BAJO COSTO
Agustín Marconi, Juan Plá, Mariela Videla, Mariana Tamasi, Mónica Martínez Bogado, Martha Díaz Salazar, Analía Moreno **194**

8. ENERGÍAS RENOVABLES Y SOCIEDAD

ENTRE NÚMEROS Y LEYES FÍSICAS: INTEGRACIÓN DISCIPLINAR Y TRABAJO EN EQUIPO EN LA FORMACIÓN ENERGÉTICA EN LA FAU-UNLP
Julio Marañón Di Leo, Viviana Cappello, Stella Maris Arrarás, Marcelo Giulietti **204**

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS SOCIALES EN EL NORDESTE ARGENTINO: DISEÑO PASIVO Y GENERACIÓN FOTOVOLTAICA COMO ESTRATEGIAS PARA LA SOSTENIBILIDAD HABITACIONAL
Bruno N. Domínguez, Claudia A. Pilar, Luis H. Vera **210**

EVALUACIÓN TÉRMICA Y SOCIAL DE UNA COCINA SOLAR TIPO tanque
Víctor García, Francisco Filippín, David Piza, Gustavo Gallo **223**

PAISAJE Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA: METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN EN PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES. EL CASO DEL PARQUE EÓLICO CORTI, BAHÍA BLANCA, ARGENTINA
Karina Jensen, Daiana Beretta, Florencia Arias, María Paz Nader, Leandro Varela **233**

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 7-18 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y GESTIÓN ADAPTATIVA EN AULAS UNIVERSITARIAS: REVISIÓN NORMATIVA Y ESTUDIO EXPLORATORIO EN MENDOZA

María Cecilia Molina[1], Carolina Ganem [1,2], Gustavo Javier Barea Paci[1]
[1] Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro Científico Tecnológico (CCT) Mendoza, Argentina
[2] Facultad de Arte y Diseño. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina
E-mail: mcmolina@mendoza-conicet.gob.ar ; cganem@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es analizar la falta de articulación entre calidad del aire interior (CAI), confort térmico (CT) y eficiencia energética (EE) en la normativa vigente, y contrastar dichos marcos regulatorios con primeros resultados tomados en un aula universitaria de Mendoza. La metodología combina una revisión cuali-cuantitativa de 136 normativas nacionales e internacionales —evaluando cobertura temática, umbrales y contaminantes regulados— con un estudio de caso exploratorio y de corto plazo. El análisis normativo muestra una alta fragmentación: solo el 15 % de las regulaciones integran de forma explícita CAI, CT y EE, mientras que la mayoría las aborda de manera independiente. La comparación de valores límite para 13 contaminantes evidencia disparidades significativas, en especial para CO_2, PM2.5 y COVs. En el estudio de caso, la temperatura interior se mantuvo entre 20 °C y 24 °C y el CO_2 y presentó una media de 900 ppm, con picos de 1200 ppm, La estabilidad térmica pese a la ventilación se atribuye al calor metabólico de 80 estudiantes y a la inercia térmica del edificio. Estos resultados indican que el comportamiento adaptativo podría mantener condiciones aceptables incluso sin sistemas mecánicos. Se concluye que las normativas deberían incorporar criterios integrales y flexibles que contemplen el contexto climático, la adaptabilidad y la participación de los usuarios en la gestión ambiental de los edificios.

Palabras clave: normativa, calidad del aire interior; eficiencia energética; confort térmico; estudio de caso, aula

INTRODUCCIÓN

Los edificios consumen cerca del 33% de la energía final a nivel mundial y son responsables de entre el 17% y el 21% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2022). En este contexto, la eficiencia energética se ha consolidado como eje prioritario en las políticas públicas y certificaciones ambientales, orientando el diseño y la operación edilicia hacia la reducción de demandas energéticas.

El acondicionamiento térmico y la ventilación de espacios interiores son los factores energéticos más significativos en los requerimientos energéticos, durante la etapa de funcionamiento de los edificios. (Ganem, 2006; Barea, 2013; Balter, 2015; Andreoni, 2022; D'Amanzo, 2024).

Sin embargo, esta optimización energética ha tenido implicancias no deseadas sobre la calidad ambiental interior, particularmente en lo relativo a la ventilación, la salud de los ocupantes y su confort térmico.

Se estima que las personas pasan entre el 80% y el 90% de su tiempo en espacios interiores. Esta alta permanencia convierte a la calidad del aire interior (CAI) en un factor determinante para la salud pública. (Dimitroulopoulou et al, 2023; Liu et al, 2024).

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En paralelo, el confort térmico —resultado de la interacción entre condiciones ambientales, características individuales y actividad física— es clave para el bienestar, el desempeño y la productividad en contextos educativos, laborales y residenciales. El fenómeno del "síndrome del edificio enfermo" (SEE), asociado a ventilación deficiente, contaminantes acumulados y diseños herméticos, expone los riesgos de un enfoque normativo fragmentado, donde eficiencia y salud no siempre se consideran de manera conjunta. (Niza et al, 2024)

Como resultado a lo expuesto, el panorama actual presenta un gran desafío en la interacción de la eficiencia energética, el confort térmico, la calidad del aire interior y en las relaciones que se establecen entre ellas en el comportamiento de un edificio y su espacio interior. En los últimos años, el desarrollo de investigaciones y la ampliación del conocimiento en torno a estas temáticas han tomado gran importancia en la búsqueda de estrategias que permitan alcanzar un equilibrio. El objetivo final es lograr edificios sostenibles que no solo sean eficientes en términos energéticos, sino que también garanticen el bienestar y la salud de sus ocupantes (Al Mindeel et al, 2024).

El diseño arquitectónico de un edificio desempeña un papel fundamental. En este sentido, diversas normativas a nivel mundial han sido creadas o actualizadas con el propósito de establecer criterios para regular la calidad del aire interior (Khovalyg et al, 2020). En algunos casos lo hacen regulando a su vez el confort térmico y la eficiencia energética. Algunas de ellas, establecen valores límite bien definidos para distintos contaminantes, asegurando entornos habitables que minimicen los riesgos para la salud y optimicen el uso eficiente de los recursos energéticos (Wei et al, 2022).

La presente investigación parte de la premisa de que existe una falta de articulación significativa entre las regulaciones referidas a CAI, EE y CT, tanto en su formulación como en su implementación.

Se propone, por tanto, una revisión crítica de marcos normativos nacionales e internacionales con el fin de identificar niveles de integración, vacíos regulatorios y criterios de interrelación entre los tres factores.

En el caso de edificios educativos, esta calidad influye directamente en el rendimiento y la salud de los alumnos. Se ha observado que el calor excesivo puede disminuir la concentración, mientras que la calidad del aire tiene un efecto notable en el aprendizaje. Estudios indican que el aumento de la ventilación en las aulas se asocia a una reducción del absentismo (Branco, 2024; Heracleous & Michael, 2019). Por este motivo, se incorporan los primeros resultados de un estudio de caso exploratorio en un aula universitaria ubicada en Mendoza, que permite contrastar las exigencias normativas con el comportamiento ambiental real y la gestión activa de los usuarios.

El objetivo a largo plazo es contribuir al desarrollo de marcos regulatorios integrales, capaces de articular salud, confort y eficiencia en el marco de una arquitectura ambientalmente consciente.

METODOLOGÍA

La estrategia metodológica combina dos enfoques complementarios: una revisión normativa internacional de base cuali-cuantitativa, y los primeros resultados de un estudio exploratorio con mediciones de temperatura y CO_2 en campo. Cada componente metodológico se detalla a continuación.

Revisión normativa

Se realizó una búsqueda y revisión exhaustiva de las normativas, regulaciones y guías vigentes en diversos países, priorizando aquellas que abordaban explícitamente la calidad del aire interior (CAI) en diferentes regiones del mundo, identificando sus enfoques, alcances y regulaciones específicas. Para ello, se seleccionaron 19 países representativos: China, Japón, Australia, Canadá, Francia, Alemania, Italia, España, Reino Unido, Dinamarca, Suiza, Estados Unidos, México, Brasil, Paraguay, Uruguay, Chile, Perú y Argentina, con el objetivo de evaluar la diversidad de enfoques regulatorios a fin de determinar los criterios utilizados en cada contexto para la gestión de la calidad del aire interior. Adicionalmente, se incluyeron normativas, guías y sistemas de certificación de alcance internacional

ampliamente utilizados, permitiendo así una perspectiva comparativa entre los marcos regulatorios nacionales e internacionales. Se recopilaron un total de 136 normativas: 113 provenientes de los países nombrados y 23 internacionales. Se incluyeron normativas técnicas, guías operativas y certificaciones ambientales, aplicables a edificaciones en uso o proyectadas. Los criterios de inclusión contemplaron: (a) abordaje explícito de al menos una de las tres variables (CAI, EE, CT), (b) aplicación en edificios no industriales, y (c) disponibilidad pública en versión oficial.

El análisis contempló tres dimensiones: (1) tipo de edificio regulado (sin especificar, residenciales, laborales, públicos, entre otros); (2) cobertura temática (individual o integrada de CAI, EE y CT); y (3) valores límite o rangos recomendados para 13 contaminantes del aire interior (incluyendo CO_2, PM2.5, PM10, HCHO, COVs, NO_2, O_3, entre otros. Se utilizó una matriz de doble entrada y categorización temática cruzada para el procesamiento de datos, complementado con gráficos de distribución y mapas de intensidad regulatoria.

Como limitaciones del enfoque se reconoce: la disparidad en el acceso y formato de las normativas, la posible omisión de documentos no traducidos al español o inglés, y la heterogeneidad terminológica entre marcos regulatorios nacionales. No se incluyeron normas exclusivamente orientadas a procesos industriales ni a contaminantes exteriores.

Estudio de caso: aula universitaria en Mendoza

El trabajo de campo exploratorio se llevó a cabo en el Aula 8, ubicada en el 2do piso de la Facultad de Artes y Diseño de la Universidad Nacional de Cuyo. El aula, con una configuración cuadrada de 10 m x 10 m, y un total de 100m^2, tiene capacidad para 80 estudiantes, Las particularidades morfológicas del edificio resultan en 3 fachadas expuestas Oeste, Norte y Este (con una inclinación hacia el Este de 5° respecto del Norte geográfico). En las tres presenta ventanas horizontales corredizas en forma continua, por lo que la ventilación natural es cruzada. Las ventanas están parcialmente protegidas con parasoles fijos exteriores de tipo brutalista y cortinas interiores. En la Figura 1 se presenta arriba una vista superior del edificio en la que se identifica en rojo el aula a medir; y abajo, una fotografía del interior del aula.

Figura 1: Arriba: vista superior del edificio (fuente: google maps).
Abajo: fotografía del interior del aula (imagen ilustrativa - fuente: fotografía propia).

El objetivo fue evaluar las condiciones ambientales reales en situación de uso intensivo, tomando el CO_2 (ppm) como parámetro síntesis de la CAI, y la temperatura del aire (°C) como parámetro síntesis del confort térmico (en un clima templado frío y seco, como es el de Mendoza, en el que la sensación térmica y la temperatura del aire, son valores que convergen). Las mediciones se realizaron durante jornadas lectivas los días miércoles del mes de mayo de 2024. Las mediciones se realizaron cada 10 minutos durante tres horas consecutivas (de 12:00 a 15:00 h), bajo condiciones de ocupación estables en clases teóricas continuas. Se utilizaron un registrador digital de nivel de CO_2 para uso en interiores marca Telaire modelo TEL-7001(rango 0–2500 ppm, precisión ±50 ppm, resolución ±1 ppm) y un sensor marca ONSET modelo HOBO Serie U12, temperatura (rango -20° a 70°C, precisión: ± 0.35°C entre 0° y 50°C, resolución 0.03 °C). El HOBO U12 posee un canal externo que permite la conexión del sensor Telaire. De esta forma, las mediciones de CO_2 se almacenan junto con las de temperatura, en la periodicidad programada, en la memoria del sensor HOBO. Ambos dispositivos se colocaron a 1 m de altura en el centro del aula, buscando ajustarse a la altura promedio para personas sentadas, lejos de fuentes de calor directo y aberturas.

Paralelamente, se tomaron registros observacionales cualitativos sobre el comportamiento adaptativo de usuarios: frecuencia y duración de apertura de ventanas y puertas, uso de cortinas, modificación de vestimenta y verbalizaciones espontáneas sobre sensaciones térmicas o fatiga. Esta información complementó la interpretación de los datos cuantitativos.

Este enfoque dual permite una primera contrastación del marco normativo vigente, con datos exploratorios de uso real, revelando brechas entre regulación y práctica, así como oportunidades de mejora en entornos educativos.

RESULTADOS

Resultados del análisis normativo

Normativas por Países – Cruce Enfoque Cualitativo y Cuantitativo

El análisis desarrollado requiere una evaluación integral que combine tanto aspectos cuantitativos como cualitativos. Mientras que la disponibilidad y el número de regulaciones en cada país ofrecen una primera aproximación a la importancia que se otorga a la temática, la profundidad y el enfoque con el que se desarrollan sus contenidos resultan igualmente relevantes.

Para lograr una comparación más precisa, en este apartado se realiza un cruce de datos entre el enfoque cuantitativo y cualitativo, permitiendo identificar patrones regulatorios que van más allá del simple conteo de normativas. Se examina cómo la cantidad de regulaciones en cada país se relaciona con su nivel de detalle, su alcance temático y la claridad con la que establecen valores límite para los contaminantes del aire.

En la Figura 2 se presenta el cruce entre el enfoque cuantitativo y cualitativo. El 79% de los países presenta alguna normativa completa con el límite permitido de contaminantes definido. Entre ellos, sólo el 20% de los países tienen 3 o más normativas con un alto nivel de desarrollo. Países como Reino Unido, Francia y Estados Unidos se destacan en la categoría de regulaciones que establecen límites específicos para contaminantes y abordan de manera completa las temáticas en estudio. Sin embargo, en otros casos, como Japón, España o México, si bien se observa una cantidad significativa de normativas (entre 8 y 10), muchas de ellas carecen de definiciones precisas de límites de contaminantes (entre el 80 y el 90%), lo que podría afectar su efectividad en la regulación de la calidad del aire interior.

Por otro lado, en América Latina, países como Uruguay, Perú, y Brasil la presencia de normativas sigue siendo muy limitada en cantidad y con pocas definiciones cuantitativas de límites, lo que podría traducirse en una menor exigencia regulatoria y un vacío en la protección de la calidad del aire en espacios interiores. Por otro lado, la experiencia de países como Argentina y Paraguay demuestra que, incluso con un número reducido de regulaciones, es posible establecer criterios normativos sólidos. Por ello, el desafío en la región no solo radica en ampliar la cobertura normativa, sino también en garantizar

que las futuras regulaciones sean integrales, detalladas y efectivas para mejorar la calidad del aire interior y el bienestar de la población.

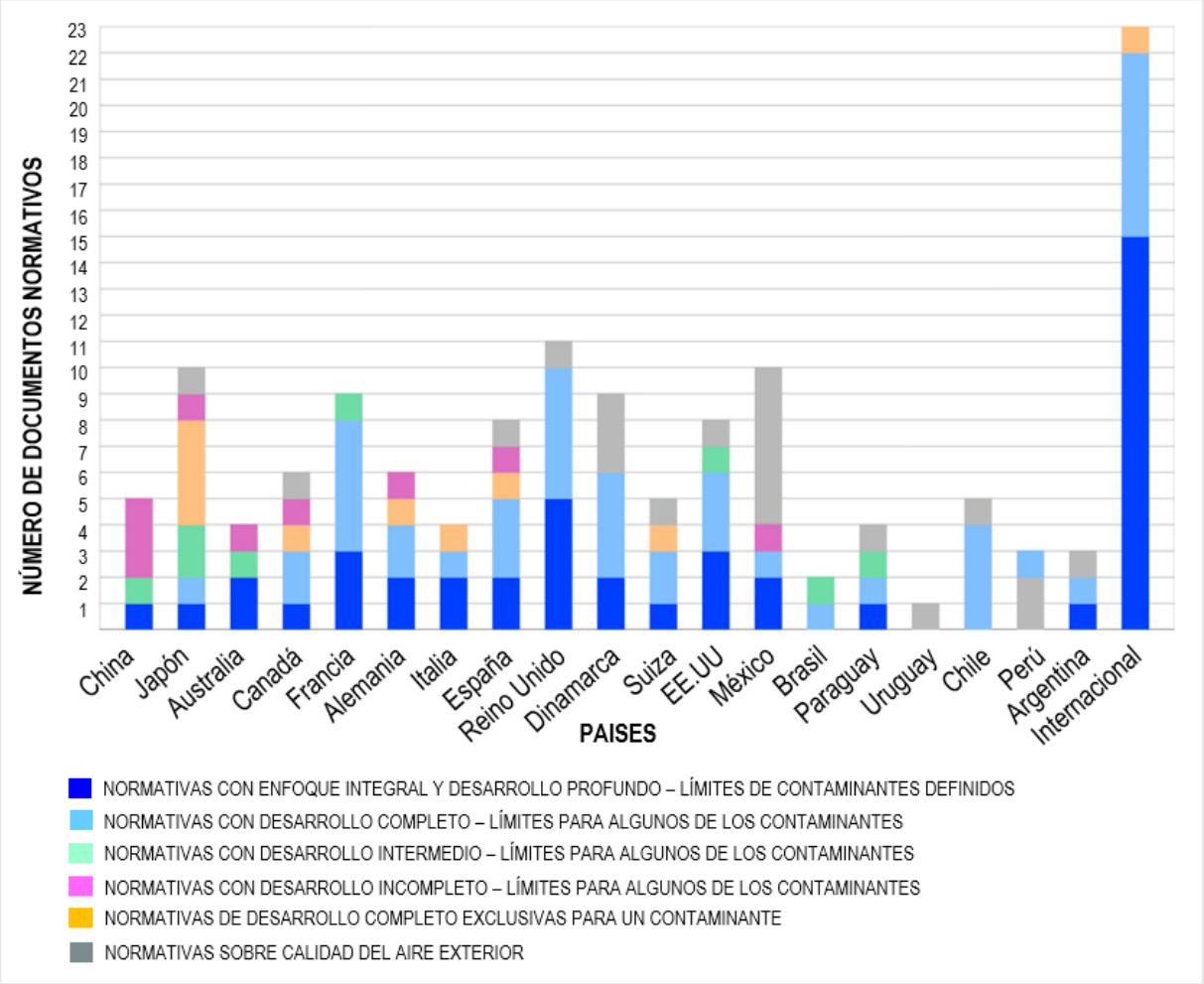


Figura 2: Correlación entre la cantidad de normativas disponibles y su grado de desarrollo normativo. (fuente: elaboración propia)

La categoría "Internacional" incluye guías y estándares de alcance supranacional (p. ej. ISO, WHO, certificaciones internacionales), presenta mayor cantidad y profundidad de criterios, reforzando el papel clave de los marcos regulatorios globales en la estandarización de criterios. Esto sugiere que, en países con regulaciones menos desarrolladas, la referencia a normativas internacionales podría servir como una herramienta útil para mejorar la regulación nacional.

Clasificación de normativas según criterios específicos: tipo y función del edificio

Las Figuras 3 y 4 sintetizan las principales tendencias globales en la regulación de la calidad del aire interior, ya sea en función del tipo de edificación o de la temática abordada. Este enfoque comparativo permite reconocer patrones compartidos y vacíos persistentes, ofreciendo un marco estructurado que facilita la identificación de enfoques normativos, la detección de fragmentaciones y el aporte de criterios para avanzar hacia regulaciones más integradas.

Tras el análisis de las normativas sobre calidad del aire interior en los distintos países, se identificó que su clasificación respondía a dos enfoques principales: aquellas que establecen regulaciones específicas en función del uso del edificio y aquellas que aplican criterios generales sin diferenciar el tipo de edificación. Ante esta variabilidad, se llevó a cabo una clasificación detallada de las normativas según la actividad y función de los espacios interiores a los que están dirigidas.

Esta aproximación permitió cuantificar y comparar el porcentaje de regulaciones orientadas a distintos tipos de edificaciones, proporcionando una visión más estructurada sobre cómo se aborda la calidad del aire interior en relación con los usos específicos de los espacios construidos. Ver Figura 3.

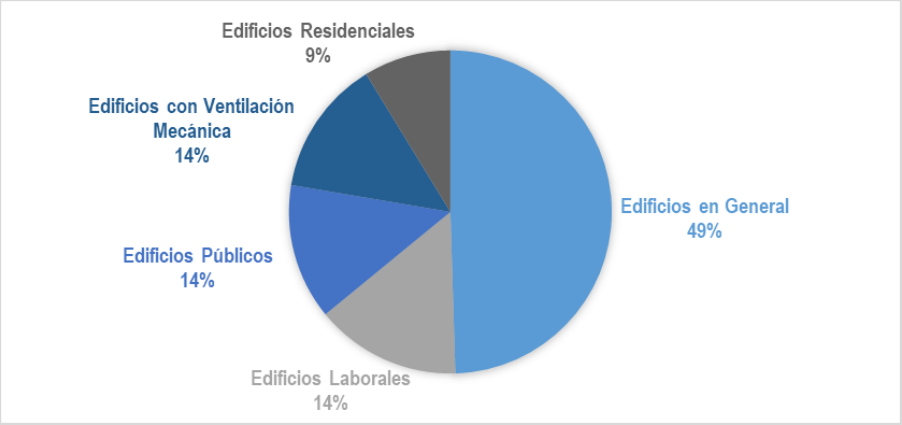


Figura 3: Porcentaje de regulaciones orientadas a distintos tipos de edificaciones *(fuente: elaboración propia)*

Clasificación de normativas según criterios específicos: temática abordada (C.A.I – C.T – E.E)

Además del análisis por tipo de edificación, se realizó una clasificación de las normativas según su temática principal. Como resultado, se identificaron cinco grupos: (1) las que abordan conjuntamente la calidad del aire interior, el confort térmico y la eficiencia energética; (2) las que combinan calidad del aire y confort térmico; (3) las que integran calidad del aire y eficiencia energética; (4) aquellas que mencionan de forma aislada aspectos relacionados con eficiencia energética o confort térmico, sin un enfoque integral; (5) las que se centran exclusivamente en la calidad del aire interior. Ver Figura 4.

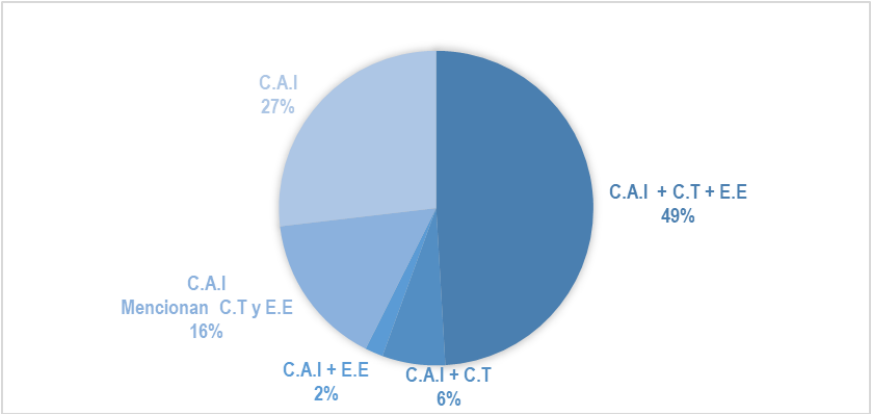


Figura 4. Porcentaje de regulaciones según temática abordada (CAI – CT – EE) (fuente: elaboración propia).

Al analizar en profundidad el 49% que regula la calidad del aire interior (CAI), el confort térmico (CT) y la eficiencia energética (EE), se identificó una notable falta de integración entre estos tres aspectos: la mayoría los trata de manera independiente, sin establecer una interrelación clara entre ellos.

El 59% de dichas normativas no establece ninguna relación entre estos tres factores, limitándose a regularlos por separado. Por otro lado, un 26% hace referencia exclusivamente a la ventilación eficiente, ya sea desde un enfoque de protección de la salud de los ocupantes sin comprometer la eficiencia energética, o bien estableciendo criterios de ventilación en función de la ocupación del espacio, sin profundizar en la interacción entre confort térmico y calidad del aire interior. Finalmente, solo un 15% de las normativas establece una relación integral entre las tres temáticas, considerándolas de manera conjunta dentro de un mismo marco regulatorio. Este hallazgo evidencia un vacío normativo, ya que

refleja la carencia de una interrelación explícita entre estos elementos en la mayoría de las regulaciones vigentes.

La clasificación y evaluación de las normativas en función de su enfoque temático permite comprender con mayor profundidad cómo se regulan y relacionan la calidad del aire interior, la eficiencia energética y el confort térmico en distintos contextos. Identificar qué normativas integran estas tres dimensiones y cuáles las abordan de forma parcial o fragmentada es fundamental para detectar vacíos regulatorios y oportunidades de mejora en la legislación vigente. Este estudio aporta un marco comparativo que contribuye a identificar buenas prácticas y a fomentar regulaciones más completas y equilibradas, orientadas hacia una integración efectiva en el sector de la edificación.

Clasificación de normativas según criterios específicos: rangos y valores límite para los contaminantes

Con el objetivo de evaluar el grado de regulación de la calidad del aire interior en distintos países y su impacto en la salud humana, se seleccionaron los 13 contaminantes más relevantes, comúnmente citados en estudios científicos como indicadores clave para una adecuada calidad del aire. Estos incluyen: Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado (PM10 y PM2.5), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Formaldehído (HCHO), Radón (Rn), Ozono (O_3), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Dióxido de Azufre (SO_2), Amoníaco (NH_3), Benceno (C_6H_6), Tolueno (C_7H_8) y Xileno (C_8H_{10}).

Dióxido de Carbono (CO_2): Presente en la mayoría de las normativas como indicador de ventilación y ocupación. Límite común: 1000 ppm; más exigentes: Suiza (750 ppm) y México (550 ppm en edificios CAII). Valores permisivos: hasta 5000 ppm. Algunos países lo mencionan sin umbrales, limitando la eficacia regulatoria. El CO_2 es el contaminante más regulado debido a que su medición es accesible, se correlaciona con la ventilación y con el confort cognitivo, y sirve como proxy del riesgo de otros contaminantes. (Ganem et al, 2024)

Monóxido de Carbono (CO): Altamente tóxico. Límites más comunes: 9–11 ppm (8–24 h). Australia y Alemania incluyen límites de corta exposición. Vacíos en varios países latinoamericanos. La disparidad de valores refleja falta de armonización.

Material Particulado (PM10 y PM2.5): Regulación débil y fragmentada, especialmente para PM2.5, que es el más dañino para la salud. Escasa inclusión en normativas, con ausencia de estándares unificados y tendencia a priorizar PM10.

Compuestos Orgánicos Volátiles Totales (TVOC): Pocos países fijan límites; la mayoría solo los menciona. Falta de criterios unificados de medición y regulación, pese a evidencias de efectos irritativos y tóxicos.

Formaldehído (HCHO): Regulado en más países que otros COV, pero con gran variabilidad en valores y tiempos de exposición. Ausente en varias normativas latinoamericanas. Falta de armonización internacional.

Radón (Rn): Gas radiactivo cancerígeno. Pocos países fijan límites; predominan menciones sin valores. Alta variabilidad incluso donde se regula. Gran brecha entre evidencia y acción normativa.

Ozono (O_3): Regulación parcial y no uniforme. Algunos países establecen límites; otros lo omiten. Ausencia de criterios claros pese a su potencial riesgo en interiores.

Dióxido de Nitrógeno (NO_2): Parcialmente regulado. Algunos países incluyen límites agudos y prolongados; otros carecen de regulación. Dispersión en valores y métodos de medición, con vacíos importantes en América Latina.
Dióxido de Azufre (SO_2): Muy pocos países lo regulan en interiores. Ausente en la mayoría de las normativas pese a su toxicidad comprobada.

Amoníaco (NH_3): Presente en pocas regulaciones, generalmente sin valores consistentes. Potencial irritante, poco priorizado normativamente.

Benceno (C_6H_6): Carcinógeno reconocido por la IARC. Regulación limitada y dispersa; gran variabilidad de umbrales y frecuentes menciones sin valores.

Tolueno (C_7H_8): Regulación heterogénea, con ausencia en muchas normativas. Frecuente en interiores mal ventilados, pero poco contemplado en estándares.

Xileno (C_8H_{10}): Escasa regulación y valores dispares. Exposición frecuente por pinturas y solventes, pero baja prioridad normativa.

En relación con los 13 contaminantes estudiados, el CO_2 es el único presente en más del 60% de las normativas. Los PM2.5, PM10 y HCHO aparecen en menos del 30%, y los COVs, NO_2 y O_3 en menos del 15%. Existe una alta dispersión en los valores límite admitidos: por ejemplo, el CO_2 oscila entre 700 ppm y 1500 ppm, sin consenso internacional. Esta variabilidad refleja no solo diferencias climáticas, sino también enfoques divergentes sobre salud y confort.

En un escenario de medición limitada a un único parámetro, el dióxido de carbono (CO_2) constituye el indicador más eficiente y representativo para evaluar la calidad del aire interior. Su concentración se correlaciona de forma directa con la tasa de ventilación y la densidad de ocupación, actuando como un marcador sintético del riesgo de acumulación de otros contaminantes asociados a la presencia humana y al uso del espacio. Umbrales ampliamente aceptados, como 1000 ppm, permiten diagnósticos rápidos y comparables a nivel internacional. Además, su medición es técnica y económicamente accesible, posibilitando el monitoreo continuo y la intervención inmediata. La evidencia científica demuestra que concentraciones superiores a 1200 ppm afectan el rendimiento cognitivo y el bienestar percibido, lo que refuerza su papel como parámetro crítico para preservar simultáneamente salud, confort y eficiencia en la gestión ambiental de los edificios.

Primeros resultados del estudio exploratorio de caso

El estudio exploratorio se realiza en la ciudad de Mendoza, en el centro oeste de Argentina, a 750 metros sobre el nivel del mar y con un clima templado frío y seco, BWk de acuerdo con la clasificación de Koppen-Geiger, (1936). El edificio elegido es la Facultad de Artes y Diseño, de la Universidad Nacional de Cuyo, construido en forma tradicional con muros de 0.20 m de espesor en ladrillo macizo a la vista sin aislamiento (U= 2,05 $W/m^2.°C$), ventanas con simple vidrio, marco de aluminio, corredizas con cortinas interiores (U= 3,60 $W/m^2.°C$), y techo liviano de chapa, con cámara de aire y cielorraso suspendido, con aislamiento de 0,05 m de poliestireno expandido (U= 1,12 $W/m^2.°C$).

Las condiciones iniciales de medición fueron: en el exterior: 16°C y 389 ppm de CO_2; y en el interior: 20°C y 400 ppm de CO_2. No hay aporte de energía auxiliar para el acondicionamiento térmico del edificio. No ingresa radiación solar directa al espacio. La diferencia de temperatura inicial interior – exterior se debe a la resistencia térmica propia de la materialidad del edificio en uso que presenta características constructivas másicas en sus materiales opacos. La diferencia de CO_2 inicial interior – exterior es mínima y se debe a que las ventanas se encontraban cerradas y a que el aula inicia la jornada de clases a las 12hs habiendo estado vacía durante la hora previa.

En la Figura 5, el eje de las abscisas indica el tiempo en minutos, y la temperatura en registros cada 10 minutos se representa con cuadrados amarillos en el eje de las ordenadas derecho. Los registros de CO_2 se representan con una línea continua azul en el eje de las ordenadas izquierdo, en el que se identifica el valor límite recomendado por la mayoría de las normativas estudiadas de 1000 ppm. Como ya se ha fundamentado en la sección anterior, se destaca la importancia del CO_2 como parámetro crítico en la evaluación de calidad del aire interior. Se observaron varias acciones de gestión ambiental por parte de estudiantes y docentes: apertura parcial (50%) de ventanas y uso combinado de puertas y ventanas para ventilación cruzada en 2 episodios con sombreado en verde. Estas acciones coincidieron con momentos de alza del CO_2 y contribuyeron a estabilizar los niveles. Las concentraciones de CO_2 superiores a 1000 ppm están identificadas por un sombreado en color rosa. Se destaca el comportamiento adaptativo de los estudiantes como variable clave al observar la variación en las concentraciones de CO_2 asociadas a la ventilación del aula.

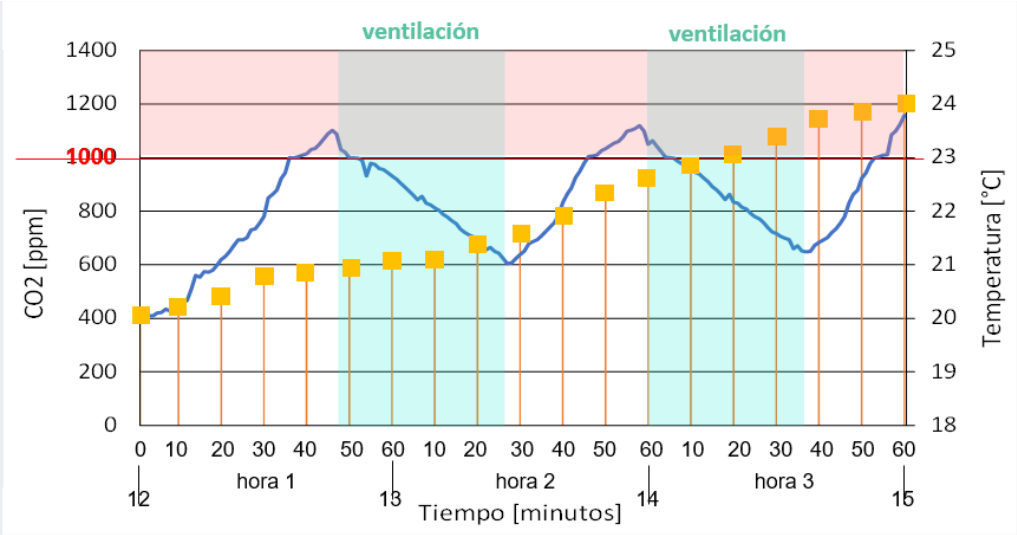


Figura 5: Síntesis de condiciones ambientales registradas en una jornada. (fuente: elaboración propia)

Durante el monitoreo de 3 horas entre las 13 y las 15hs en el Aula 8, la temperatura interior osciló entre 20°C y 24°C, con una media de 22°C. Estas condiciones se mantuvieron dentro del rango de confort de temperatura definido por la norma ASHRAE 55 (2023) para edificios sin acondicionamiento activo. No se registraron temperaturas extremas ni quejas manifiestas de falta de confort térmico. Es notable el ascenso constante de la misma, pese a las instancias de ventilación. Este fenómeno se debe al efecto metabólico relacionado a la presencia de 80 estudiantes lo que resulta en un aporte de calor interno constante, y a la inercia térmica propia de un edificio de construcción tradicional y maciza, que contrarresta el ingreso de aire más frío desde el exterior, que se encuentra en 16°C.

En cuanto a la concentración de CO_2, los valores iniciales se situaron en 400 ppm, y fueron incrementando con la ocupación continua del aula hasta alcanzar picos de 1200. Al alcanzar estos niveles se produce un descenso de las concentraciones hasta alcanzar los 600 ppm, en coincidencia con la apertura de las ventanas al 50% y su posterior cierre al bajar las concentraciones de CO_2. Este ciclo se repitió 2 veces durante la medición. Observamos que en la primera apertura la temperatura mostró un cambio inmediato en la pendiente (reducción temporal del ritmo de incremento), mientras que en la segunda apertura el incremento continuó: esto puede deberse a la situación fractal de ventilación (apertura/uso de puertas), y/o al mayor aporte interno acumulado. La media durante el período fue de 900 ppm, lo cual se encuentra en el umbral superior de lo recomendado por estándares internacionales. Se registraron mediciones por sobre los 1000 ppm de CO_2 y hubo manifestación de sensación de agobio y bochorno debido a las condiciones del aire interior.

Es notoria la percepción de falta de confort en los alumnos cuando las concentraciones superan los 1000 ppm, en los que proceden a abrir las ventanas para permitir el ingreso de aire exterior con concentraciones inferiores a 400 ppm. Los datos medidos no se dieron a conocer en el momento a los alumnos, por lo que podemos atribuir su comportamiento exclusivamente a acciones en la envolvente que tienden a la búsqueda de una mejor calidad de aire. Estos valores empíricos coincidentes con la normativa general que indica umbrales aceptables de CO_2 de 1000 ppm queda validada en forma empírica para el aula 8 de la Facultad de Artes y Diseño de la Universidad Nacional de Cuyo.

La correlación entre la participación activa de los usuarios y la regulación pasiva de las condiciones ambientales sugiere que las normativas deberían incorporar mayor flexibilidad y reconocimiento del comportamiento adaptativo. La comparación con los marcos analizados revela una brecha entre lo prescripto y lo observado en entornos reales, especialmente en climas templados con ventilación natural. Estos resultados fortalecen la necesidad de enfoques normativos más integrales, que reconozcan la variabilidad de usos, climas, y conductas, así como la importancia del confort y la salud en la eficiencia ambiental de los edificios.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian una fragmentación significativa en la regulación ambiental interior a nivel global. El hecho de que solo el 15% de las normativas analizadas integren de manera explícita la calidad del aire interior (CAI), la eficiencia energética (EE) y el confort térmico (CT), confirma la existencia de un enfoque regulatorio sectorizado que impide abordar el ambiente construido desde una perspectiva integral.

Diversos estudios han advertido sobre esta disociación entre eficiencia y salud, particularmente en el contexto del diseño de edificios energéticamente eficientes que no garantizan simultáneamente condiciones de confort o salubridad (Babich et al, 2023; Torriani et al., 2023). La creciente hermeticidad de las envolventes edilicias, motivada por la necesidad de reducir la demanda energética, ha limitado la ventilación natural y promovido condiciones propensas al "síndrome del edificio enfermo" (SEE). La literatura especializada coincide en que una ventilación inadecuada, combinada con ocupación elevada y materiales contaminantes, afecta directamente la salud de los ocupantes (ASHRAE 62.1,2022).

El análisis crítico de los marcos normativos muestra además una alta variabilidad en los valores límite establecidos para contaminantes clave. Esta dispersión normativa, por ejemplo, en el caso del CO_2 (700 a 1500 ppm), refleja tanto la falta de consenso científico como la ausencia de una gobernanza global que promueva estándares armonizados. En este escenario, las primeras mediciones de un caso de estudio en un aula universitaria en Mendoza adquieren un valor empírico singular. La medición de CO_2 y temperatura durante el uso efectivo del espacio permite constatar que, incluso sin sistemas activos de climatización, los usuarios lograron mantener los niveles dentro de los rangos de confort y salubridad sugeridos por la norma ASHRAE 55 (2023). Esto se logró mediante estrategias adaptativas y participación consciente, como el uso controlado de aberturas, cortinas y vestimenta, lo cual coincide con los planteos de la teoría de "free running buildings" (Nicol & Humphreys, 2002).

Este hallazgo no solo valida la importancia de considerar el comportamiento del usuario como variable crítica en el diseño de estrategias de CAI-EE-CT, sino que también cuestiona el paradigma normativo estático. En contextos educativos y climáticos como el de Mendoza, el enfoque basado en normas prescriptivas podría resultar insuficiente frente a entornos de ventilación natural gestionados por los propios ocupantes. Por ello, se propone avanzar hacia marcos normativos más flexibles e integrados, que incluyan indicadores de comportamiento adaptativo, promuevan la co-responsabilidad usuaria y contemplen las condiciones climáticas locales. Una regulación ambientalmente consciente debería trascender la simple sumatoria de variables, articulando salud, confort y eficiencia bajo criterios interdependientes, sensibles al contexto y con posibilidad de ajuste según el uso real del espacio.

En suma, la discusión evidencia la necesidad de actualizar los marcos regulatorios hacia un enfoque integrador, que incorpore evidencia empírica, contemple la variabilidad climática y reconozca el rol activo del usuario en la configuración del ambiente interior.

CONCLUSIONES

La presente investigación confirma la hipótesis inicial de que existe una falta de articulación sustantiva entre los marcos normativos que regulan la calidad del aire interior (CAI), la eficiencia energética (EE) y el confort térmico (CT), tanto en su formulación como en su aplicación. Este desajuste se traduce en un panorama regulatorio fragmentado, con umbrales dispares y una integración mínima de variables, donde sólo el 15 % de las normativas analizadas incorpora una visión verdaderamente holística. Tal hallazgo no solo tiene implicancias técnicas, sino que también plantea interrogantes sobre la coherencia de las políticas públicas y la capacidad de respuesta de los sistemas regulatorios ante las demandas de un hábitat saludable, eficiente y resiliente.

El análisis comparativo evidencia que, aunque existen ejemplos de normativas integradas, predominan los enfoques sectoriales que abordan CAI, EE o CT como dominios independientes. Este tratamiento aislado impide capitalizar sinergias potenciales, diluye la capacidad de control de riesgos asociados a la ventilación inadecuada y obstaculiza el diseño de entornos capaces de equilibrar eficiencia y bienestar.

La falta de estándares armonizados para contaminantes clave —como CO_2, PM2.5 o COVs— refleja no solo una diversidad climática y cultural, sino también la ausencia de mecanismos globales de convergencia técnica que garanticen niveles equivalentes de protección.

El estudio de caso en el aula de Mendoza aporta una primera aproximación a la evidencia empírica que refuerza el argumento central: la gestión adaptativa de los usuarios, mediante ventilación natural y acciones simples en la envolvente, permitió mantener las condiciones de confort térmico y calidad del aire en rangos aceptables, incluso sin sistemas mecánicos. Este resultado es particularmente significativo para regiones de clima templado, donde las estrategias pasivas pueden reducir la dependencia de equipamientos energéticamente intensivos. Además, el caso confirma que los umbrales normativos de CO_2 ampliamente aceptados (en torno a 1000 ppm) son coherentes con la percepción de confort y salubridad de los ocupantes, otorgando validez operativa a dichos límites en contextos educativos.

Si bien queda clara la necesidad de ampliar la base de datos para obtener resultados más sólidos, a partir de estos hallazgos, se plantea que la evolución futura de la normativa debe orientarse hacia marcos más integradores, flexibles y contextualmente sensibles, que:

- Articulen explícitamente CAI, EE y CT como ejes interdependientes, con criterios de diseño y operación que permitan su optimización simultánea.
- Incorporen indicadores de comportamiento adaptativo, reconociendo el papel activo de los usuarios en la configuración de las condiciones ambientales.
- Desarrollen estándares armonizados que combinen evidencia científica global con ajustes calibrados a las particularidades climáticas, culturales y tipológicas de cada región.
- Promuevan la adopción de soluciones pasivas y de bajo impacto energético, sin sacrificar salud ni confort.

En una perspectiva prospectiva, esta investigación, aún en sus primeras etapas, promete aportes para un cambio de paradigma: de la regulación prescriptiva y fragmentada hacia un enfoque normativo integral de desempeño, capaz de evaluar y certificar no solo el cumplimiento de valores límite, sino también la capacidad adaptativa del edificio y de sus usuarios frente a condiciones variables. Esta transición es esencial para consolidar una arquitectura ambientalmente consciente, donde la calidad del aire, el confort térmico y la eficiencia energética dejen de competir por prioridad y comiencen a funcionar como un sistema integrado al servicio de la salud, el bienestar y la sostenibilidad.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Beca Doctoral de CONICET 2024-2029: Calidad del aire interior y confort térmico en edificios educativos orientada a la certificación energética. PICT 2022-00320; CONICET-PIP 2021-1117; Proyecto de Investigación T1 2021-2024 SIIP - UNCUYO: 06/I002-T1 y Proyecto de Fortalecimiento en Ciencia y Técnica 2025-2027 SIIP–UNCUYO 06/ 80020240400045UN.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los docentes y alumnos de las carreras de Diseño Gráfico e Industrial, a los docentes y directivos por haber permitido realizar mediciones durante las clases.

REFERENCIAS

Al Mindeel, T. et at. (2024). Energy, thermal comfort, and indoor air quality: Multi-objective optimization review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 202, 114682. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114682

Andreoni, S. (2022). Predicción de comportamiento térmico y consumo energético en viviendas en climas templados continentales. Evaluación de riesgos en el logro del confort relacionados con el uso y la gestión (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Salta.

ASHRAE 55. (2023). Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE 62.1 (2022). Ventilation for Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Babich, F.; Torriani, G.; Corona, J.; Lara; Ibeas I. (2023) Comparison of indoor air quality and thermal comfort standards and variations in exceedance for school buildings. Journal of Building Engineering 71, 106405

Balter, J. (2015). Sostenibilidad de edificios en altura en "ciudades - oasis". Características arquitectónicas y ambientales para el caso de la ciudad de Mendoza (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata.

Barea Paci, G. (2013). Sistemas de aventanamiento multiacimutales para edificios sustentables en climas templados continentales (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Salta.
Branco, P. T. B. S., Sousa, S. I. V., & Weersink, A. (2024). A review of relevant parameters for assessing indoor air quality in educational facilities. Environmental Research, 245, 115095.
D'Amanzo, M. (2024). Edificios de oficinas bajo lineamientos de energía cero neta en zonas de climas templados continentales (Tesis doctoral). Universidad Tecnológica Nacional, Regional Mendoza.
Dimitroulopoulou, S., Dudzińska, M. R., Gunnarsen, L., Hägerhed, L., Maula, H., ... & Haverinen-Shaughnessy, U. (2023). Indoor air quality guidelines from across the world: An appraisal considering energy saving, health, productivity, and comfort. Environment Int, 178, 108127. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108127
Ganem, C., Barea, G.; Ruete, C. (2024) Estudio sobre la calidad del aire interior y el confort térmico de un aula universitaria en Mendoza. Libro de resúmenes de las XXVIII Jornadas de Investigación de la UNCUYO.
Ganem, C. (2006). Rehabilitación ambiental de viviendas. El caso de Mendoza. (Tesis doctoral). ETSAB – UPC.
Heracleous, C., & Michael, A. (2019). Experimental assessment of the impact of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort conditions of educational buildings in the Eastern Mediterranean region during the heating period. Journal of Building Engineering, 26, 100887.
IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. 6th Assessment Report. [en línea] Dirección URL https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/ [10 de agosto de 2025]
Khovalyg, D., Kazanci, O. B., Halvorsen, H., Gundlach, I., Bahnfleth, W. P., Toftum, J., & Olesen, B. W. (2020). Critical review of standards for indoor thermal environment and air quality. Energy and Buildings, 213, 109819. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109819
Liu, G., Chen, H., Yuan, Y., & Song, C. (2024). Indoor thermal environment and human health: A systematic review. Ren. and Sustainable Energy Reviews, 191, 114164. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100314
Niza, I. L., de Souza, M. P., da Luz, I. M., & Broday, E. E. (2024). Sick building syndrome and its impacts on health, well-being and productivity: A systematic literature review. Indoor and Built Environment, 33(2), 218–236. https://doi.org/10.1177/1420326X231191079
Nicol, J. F., & Humphreys, M. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Energy and Buildings, 34(6), 563–572. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3
Torriani, G., Lamberti, G., Salvadori, G., Fantozzi, F., Babich F. (2023) Thermal comfort and adaptive capacities: Differences among students at various school stages. Building and Environment 237, 110340.
Wei, G., Yu, X., Fang, L., Wang, Q., Tanaka, T., Amano, K., & Yang, X. (2022). A review and comparison of the indoor air quality requirements in selected building standards and certifications. Building and Environment, 226, 109709. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109819

INDOOR AIR QUALITY AND ADAPTIVE MANAGEMENT IN UNIVERSITY CLASSROOMS: REGULATORY REVIEW AND EXPLORATORY STUDY IN MENDOZA

ABSTRACT The objective of this study is to analyze the lack of coordination between indoor air quality (IAQ), thermal comfort (TC) and energy efficiency (EE) in current regulations, and to compare these regulatory frameworks with initial results obtained in a university classroom in Mendoza. The methodology combines a qualitative and quantitative review of 136 national and international regulations—evaluating thematic coverage, thresholds, and regulated pollutants—with a short-term exploratory case study. The regulatory analysis shows a high degree of fragmentation: only 15% of regulations explicitly integrate IAQ, TC and EE, while the majority address them independently. The comparison of limit values for 13 pollutants shows significant disparities, especially for CO_2, PM2.5 and VOCs. In the case study, the indoor temperature remained between 20 °C and 24 °C and CO_2 averaged 900 ppm, with peaks of 1200 ppm. Thermal stability despite ventilation is attributed to the metabolic heat of 80 students and the thermal inertia of the building. These results indicate that adaptive behavior could maintain acceptable conditions even without mechanical systems. It is concluded that regulations should incorporate comprehensive and flexible criteria that consider the climatic context, adaptability and user participation in the environmental management of buildings.

Keywords: standards, indoor air quality, energy efficiency, thermal comfort, case study, classroom

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 19-31 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

COMUNIDADES DE EDIFICIOS DE ENERGÍA CERO NETA (NZEB) EN CLIMAS DE ALTO RECURSO SOLAR: REVISIÓN DE CO-BENEFICIOS PARA USOS MIXTOS EN MENDOZA

Micaela D'Amanzo[1], Carolina Ganem-Karlem[1,2], María Victoria Mercado[1]
[1]Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET. Mendoza, Argentina
[2]Facultad de Artes y Diseño (FAD), Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina
Tel. 0261-5244310 e-mail: mdamanzo@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: Las comunidades NZEB o también llamados Distritos de Energía Positiva (PED), presentan co-beneficios en grupos de edificios de usos mixtos relacionados con aspectos energéticos, sociales y de confort que mejoran la calidad de vida de sus habitantes. Se realizó una revisión del estado del arte de la temática, donde se seleccionaron 20 artículos científicos de relevancia publicados durante el período del 2018 a la actualidad. La metodología consistió en un análisis de tipo descriptivo y exploratorio de los ítems: 1) Definición de términos, 2) Marco Normativo, 3) Co-beneficios en comunidades de usos mixtos, 4) Interacción energética comunidad-red, y 5) Proyecciones para la implementación en el área metropolitana de Mendoza (AMM). Los resultados obtenidos explican que existen variantes conceptuales a la definición que deben unificarse, como también la métrica del balance energético. La producción de ER, la EE y la flexibilidad energética se reconocen como puntos clave. El AMM presenta un elevado recurso solar que contribuye a la producción de energía limpia. Se concluye que es posible una implementación local que permita el logro de un balance energético neutro en distritos urbanos.

Palabras clave: Edificios Energía Cero Neta, Comunidades NZEB, Distritos de energía positiva, Generación distribuida, Transición energética

INTRODUCCIÓN

La problemática del cambio climático y la crisis energética advierten la urgencia de aplicar acciones de mitigación y adaptación en las ciudades. Hacia el año 2019, las emisiones antropogénicas netas de CO_2 se encontraban elevadas a 410 ppm, causando una amenaza para la biodiversidad del planeta; por ello, en relación con el Acuerdo de París, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) alerta sobre la necesidad de mantener el aumento de la temperatura media de la tierra en 1,5°C, por debajo de los niveles pre-industriales. (IPCC,2018 y 2023).

Siendo que los edificios consumen el 40% de la energía final mundial y producen el 33% de emisiones de gas efecto invernadero, directa o indirectamente (UNEP, 2023). Los últimos reportes en la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency - IEA) indican que el camino hacia la descarbonización en las ciudades para el 2030 sólo podrá lograrse mediante tecnología e innovación (IEA, 2022). Para ello se establecen nuevas políticas y estrategias basadas en metas Carbono Neutral CO^2 (Net Zero CO^2,) y Emisiones de GEI cero (Net Zero GHG Emissions) hacia los años 2030, 2050 y 2100. (UN-Habitat, 2022).

El surgimiento de nuevos paradigmas: la Arquitectura carbono neutra y la Arquitectura regenerativa, dieron origen a los Edificios Energía Cero Neta (Net Zero Energy Buildings - NZEB). Los NZEB son

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

edificios prosumidores de energía renovable, es decir que producen la energía que necesitan tendiendo a un balance neutro e incluso positivo. El crecimiento sostenido de los Edificios de Energía Cero Neta (NZEB) ha tenido un impacto significativo a escala global en los últimos años, consolidándose como una estrategia clave en la transición energética. Magrini et al., (2020) explican que la extensión de edificios prosumidores pueden tener implicancias positivas en las tres esferas de la sustentabilidad: *Medio ambiente*, reducción de emisiones de CO^2 gracias al uso de energías limpias provenientes de ER; *Sociedad*, creación de comunidades basadas en la solidaridad que trabajan juntas por un propósito común de soporte energético; *Economía*, comparado con la inversión inicial en redes inteligentes (Smart grids) e integración de ER en edificios, los usuarios pueden contar con ahorros energéticos. En este sentido, surge el concepto de "Comunidad nZEB", una propuesta innovadora basada en la cooperación entre edificios que comparten recursos como la generación de energías renovables, almacenamiento energético e intercambio de información, configurando un ecosistema urbano más resiliente, eficiente y sustentable. (Huang y Sun, 2019; Kylili y Fokaides, 2015).

A nivel global, la adopción de Edificios de Energía Cero Neta (NZEB) y su evolución hacia Comunidades NZEB o Distritos de Energía Positiva (PED) se ha consolidado como una estrategia clave para la descarbonización urbana, especialmente en regiones con elevado recurso solar. El potencial de generación de energías renovables in situ, no sólo permite autoabastecer un edificio energéticamente eficiente, sino que es posible extender este beneficio a desarrollos urbanos de usos mixtos y conseguir un Distrito de Energía Positiva (PED).

La literatura revisada demuestra que, cuando estos modelos se aplican en entornos de uso mixto, generan sinergias energéticas, económicas y sociales que superan el rendimiento individual de cada edificio. La diversidad de funciones lleva a que los edificios presenten demandas energéticas variadas y no siempre las mismas estén asociadas a los momentos en los que se encuentra disponible el recurso solar y se produce la producción de energía renovable. (Huang y Sun, 2019; Minelli et al, 2024; Battaglia, 2024). Asimismo, está ampliamente comprobado en el ámbito científico que en las comunidades, el uso mixto - definido como barrios en los que conviven espacios dedicados al comercio, el entretenimiento y el deporte junto con la vivienda- redunda en beneficios relacionados con la seguridad y el bienestar social de sus habitantes (UN-Habitat, 2021 y 2022). Por lo tanto, los co-beneficios no sólo representan valor energético, sino que es importante destacar la valoración urbana, social, funcional y sostenible que se traduce en calidad de vida de una comunidad.

En acuerdo con la Agenda 2030 planteada por las Naciones Unidas que promueve el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los ODS 7 sobre el acceso a energía limpia y asequible y el ODS 11 que impulsa el desarrollo de ciudades sostenibles y resilientes (Naciones Unidas, 2015; CEPAL, 2018); en Argentina, se encuentra vigente la ley Nº 27.424 "Régimen de fomento a la generación distribuida de Energía Renovable integrada a la red eléctrica pública" (Honorable Congreso de la Nación Argentina, 2017). La misma establece las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución. Hacia finales del 2024, el programa alcanzó los 2.290 usuarios generadores con una potencia total instalada de 58.996 kW. Estos 59 MW equivalen a la demanda eléctrica anual de más de 28.000 hogares y representan un total de 64.600 toneladas de emisiones de dióxido de carbono (tCO^2) evitadas. (Secretaría de Energía,2024).

En Mendoza el recurso solar es permanente, debido a la alta heliofanía durante todo el año, esta consideración ofrece potencialidad para integrar energías renovables en los edificios nuevos y existentes mediante sistemas de generación de energías limpias; fotovoltaica para usos de electricidad y colectores de energía solar térmica, para agua caliente sanitaria y calefacción. La Figura 1 muestra un gráfico de Radiación global sobre superficie horizontal (Wh/m^2) para la provincia, la distribución estacional y horaria fue calculada a partir de datos promedio anuales, donde la radiación incidente se encuentra en un 10% entre 316 y 474 Wh/m^2 y en un 24% superando el valor máximo.

Actualmente en la provincia existen 706 usuarios generadores (456 residenciales y 250 comerciales e industriales) y la potencia total solicitada fue de 14.677 MW, de los cuales 2.417 MW corresponden a residenciales y 12.260 MW a comerciales/industriales (EPRE, 2024). En relación con lo expuesto,

resulta importante tener en cuenta el almacenamiento de la energía producida, donde en la provincia se han establecido pautas para promover el desarrollo de redes inteligentes en el segmento de la distribución, lo cual facilita la viabilidad y el fomento de dichas directivas (Durán, 2023). Asimismo, la generación distribuida en el territorio contribuye a no sobrecargar la red eléctrica nacional y realizar una contribución a la matriz energética regional y a nivel país en cuanto a la generación de energía renovable.

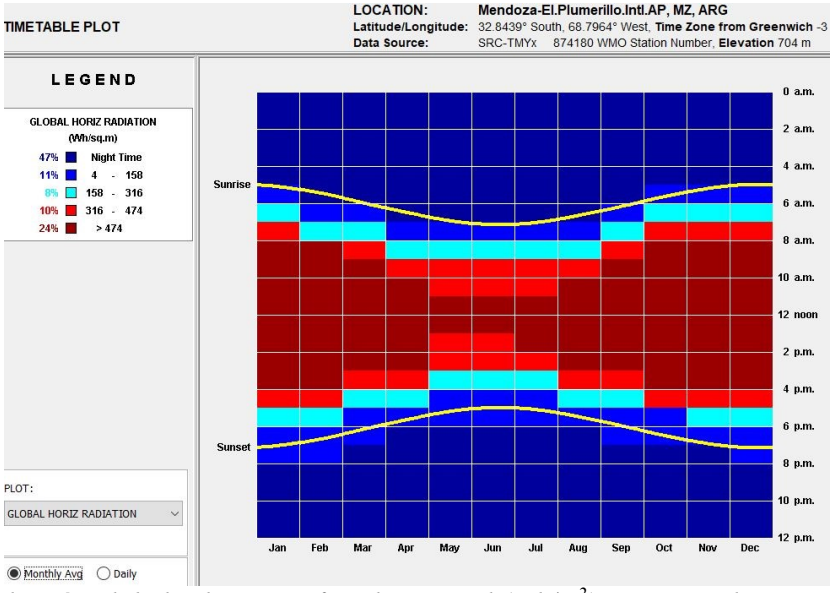


Figura 1: Radiación global sobre superficie horizontal (Wh/m^2). Fuente: Climate Consultant 6.0.

Por lo tanto, se plantea que, en el contexto de Mendoza, la integración de estrategias NZEB a escala comunitaria en distritos de uso mixto es técnica, normativa y económicamente viable, y que puede generar co-beneficios energéticos y sociales medibles. En el presente trabajo se propone una revisión de bibliografía científica de comunidades NZEB o distritos de energía positiva (PED) y de uso mixto asociados a la eficiencia energética y a la integración de la producción de energía renovable en edificios.

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un estudio de carácter descriptivo y exploratorio basado en el análisis de antecedentes y bibliografía especializada. La búsqueda documental se realizó utilizando palabras clave específicas tales como: Comunidades NZEB, Distritos de Energía Positiva (PED), Smart Grids y Microgrids, normativas internacionales y locales sobre producción de energía eléctrica renovable in situ, así como la relación edificio-red y comunidad-red, con el objetivo de identificar y comprender casos de colaboración en desarrollos de usos mixtos a nivel global (Figura 2). También fue necesario el estudio de las condiciones climáticas del área metropolitana de Mendoza-zona Bioambiental IVa templada fría (según IRAM 11603:2012), para el desarrollo de la propuesta de proyecciones de implementación para la región.

Figura 2: Estudio del marco conceptual. Fuente: Elaboración de los autores.

La selección de fuentes se restringió a publicaciones comprendidas entre 2018 y la actualidad, dado que a partir de ese año se consolidaron políticas orientadas a la renovación masiva del parque edilicio en el marco normativo internacional. La búsqueda se efectuó mediante las plataformas Web of Science (WoS), Science Direct y Google Académico. La información analizada quedó delimitada a 20 documentos, entre artículos científicos, capítulo de libro, actas de congresos y documentos institucionales (Figura 3).

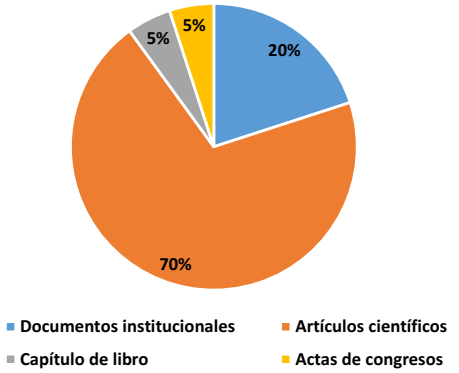


Figura 3: Origen de las fuentes analizadas. Fuente: Elaboración de los autores.

El análisis bibliográfico permitió estructurar el desarrollo del trabajo en los siguientes ítems: en primer lugar la definición de términos clave, para comprender los conceptos y sus variantes; en segundo lugar el marco normativo, que indique las políticas energéticas y ambientales; en tercer lugar los co-beneficios en comunidades de usos mixtos, desde el aspecto energético y de confort; en cuarto lugar la interacción energética comunidad-red, que presenta herramientas de análisis para el estudio energético del conjunto; y en quinto lugar proyecciones para la implementación en el área metropolitana de Mendoza, donde se presenta una metodología regional NZEB y la posible adaptación para el diseño de comunidades NZEB locales. Posteriormente, se presentan la discusión de los resultados obtenidos para dar paso a las conclusiones del estudio.

DESARROLLO

1) Definición de términos

Los Distritos de energía positiva (PED) se definen como "áreas urbanas energéticamente eficientes y flexibles que producen un balance neto cero de emisiones de gases de efecto invernadero y gestionan

activamente un excedente anual local o regional de producción de energía renovable" (Urban Europe-Positive Energy Districts-PED, 2025)

Deben integrar diferentes sistemas e infraestructuras, e interactuar entre edificios, usuarios y sistemas regionales de energía, movilidad y TIC, asegurando al mismo tiempo el suministro energético y una buena calidad de vida para todos, en línea con la sostenibilidad social, económica y ambiental.

A continuación, se presentan las variantes conceptuales, los pilares y los desafíos de los PED.

Existen variantes conceptuales a la definición de PED, como "PED autónomo", "PED dinámico" y "PED virtual", que dependen de los límites geográficos y la interacción con la red externa del sistema. También, la energía útil incluida (calefacción, agua caliente sanitaria, electrodomésticos, auxiliares, movilidad) y el período de tiempo considerado (solo operación o incluyendo construcción y fin de vida).

Para el balance energético, todos los elementos deben convertirse utilizando la misma métrica (energía final, energía primaria, emisiones de CO2 equivalente, etc.), y la métrica adoptada puede estar influenciada por los objetivos del proyecto o las consideraciones climáticas y de costos.

La definición de PED y el logro de sus objetivos se complican aún más al incluir factores como la movilidad y el carbono incorporado en el balance. Estos factores son a menudo pasados por alto en las definiciones más simples, pero pueden ser comparables al impacto de la fase operativa de los edificios.

Los PED se basan en tres pilares o funciones:

- *Producción de energía:* El distrito debe depender únicamente de energía renovable (solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, biomasa).
- *Eficiencia energética:* Aumentar la relación entre la demanda de energía del distrito y el suministro necesario para cubrir los servicios (confort térmico, iluminación, etc.).
- *Flexibilidad energética:* Adaptar el consumo de energía del distrito a las necesidades de la red y la producción renovable.

Los desafíos clave identificados para la implementación efectiva de los PED por Sassenou, Olivieri & Olivieri (2024) son:

- *Ambigüedad de los conceptos:* Existe una falta de consenso en las definiciones de los conceptos relacionados con los PED (como "distrito de energía positiva", "barrio de energía positiva", "distrito de energía cero neta"), lo que dificulta la comparación de metodologías y proyectos y frena el avance de la investigación práctica.
- *Inclusión del espacio exterior:* Al pasar del nivel de edificio al de distrito, se incorporan los espacios entre edificios, lo que presenta desafíos y oportunidades. Un reto crucial es el impacto del cambio climático, como las olas de calor amplificadas por el efecto isla de calor urbano, que afectan el confort térmico exterior y la salud de los ciudadanos.
- *Combinación efectiva de soluciones:* Los PED requieren la combinación de una gran variedad de soluciones (técnicas y no técnicas) para optimizar el balance energético y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto implica la coordinación y gestión de diversos recursos y activos energéticos.
- *Tejido social del distrito:* La definición de PED destaca la importancia de considerar los aspectos sociales y garantizar una "buena vida para todos". La aceptación y el apoyo público, especialmente a través de cambios de comportamiento en el uso de la energía, son cruciales.

2) Marco normativo

El concepto de PED, aunque relativamente nuevo, está profundamente arraigado en las políticas energéticas y climáticas europeas y busca acelerar la transición hacia modelos energéticos bajos en carbono en las ciudades. Las principales directivas y planes son:

- *Directiva 2024/1275 de la EPBD*, publicada el 24 de abril de 2024. La cual, introduce prescripciones más estrictas, especialmente para el patrimonio edificado no residencial, y promueve la optimización de la generación de energía solar. También incorpora la pauta de renovación de edificios para impulsar políticas de rehabilitación; y exige evaluaciones del Potencial de Calentamiento Global (GWP) del ciclo de vida para nuevos edificios y rehabilitaciones.
- *Plan Estratégico de Tecnología Energética (SET Plan) - Acción 3.2:"Ciudades y Comunidades Inteligentes".* Promueve la investigación e innovación en tecnologías bajas en carbono. Busca estimular la transición energética en las ciudades, con el ambicioso objetivo de apoyar la planificación, el despliegue y la replicación de cien distritos de energía positiva (PED) para el año 2025.
- *Directiva de Energías Renovables III*, publicada el 18 de octubre de 2023, también es relevante, ya que establece que los estados miembros deben determinar una cuota nacional indicativa de energía renovable producida in situ o cerca de al menos el 49%, así como energía renovable tomada de la red, para el consumo final en el sector de la edificación en 2030. (Renewable Energy Directive III, 2023).

Trulsrud & van der Leer (2024), destacan que, a pesar de las diferencias contextuales de cada sitio de emplazamiento, existen varios factores significativos comunes para el éxito de los proyectos PED. Siendo, el enfoque temprano del proyecto en la eficiencia energética, la combinación de eficiencia energética con suficiencia energética, la evaluación de opciones de generación de energía renovable, el desarrollo de medidas para la flexibilidad energética, la alineación de intereses y una visión común entre los actores. Como también su participación y el trabajo interdisciplinario en las fases de planificación y diseño para encontrar medidas energéticas óptimas.

3) Co-beneficios en comunidades de usos mixtos

Los edificios de Energía Cero Neta (NZEB) en climas con alto recurso solar, integrados en comunidades de uso mixto, presentan co-beneficios energéticos que mejoran la calidad de uso energético de sus habitantes. Estos beneficios, asociados a la eficiencia energética y a la integración de la producción de energía renovable en edificios, resultan en un balance energético neutro colaborativo -que incluso puede llegar a ser positivo- asegurando el sostenimiento y crecimiento de dicha comunidad hacia la transición energética y las ciudades carbono neutras.

Atiba & Chwieduk (2024), realizaron un estudio centrado en el diseño y la simulación del funcionamiento de un PED compuesto por 50 casas unifamiliares, conocidas como bungalows, típicas de las familias de clase media en Nigeria. Se pudo demostrar que los PED son una solución idónea para países con infraestructura energética centralizada limitada o poco confiable, como Nigeria, ya que permiten a las comunidades satisfacer sus propias necesidades energéticas in situ utilizando energías renovables, con la posibilidad de compartir el excedente con áreas vecinas.
Asimismo, la reducción de la demanda energética mediante soluciones arquitectónicas y constructivas apropiadas (orientación, materiales de la envolvente, sombreado, acristalamiento, entre otras) es el primer paso crucial y llevó a una disminución del 25% en la demanda de refrigeración. Dada la alta irradiancia solar en Nigeria, el uso de sistemas solares (fotovoltaicos y térmicos) resultó fundamental y altamente efectivo para satisfacer las necesidades de electricidad, agua caliente y refrigeración. El Modelo de microred puede reducir significativamente la carga sobre la red nacional ya sobrecargada, ofreciendo suministro ininterrumpido de energía a las nuevas comunidades y liberando capacidad para otras áreas. La implementación de PEDs promueve la independencia energética, la sostenibilidad ambiental, el desarrollo económico y la innovación tecnológica en áreas sin acceso o con acceso limitado a redes energéticas.

Con respecto a reducciones en los consumos energéticos anuales y mejoras en el confort interior de los edificios mediante estrategias de diseño bioclimático, en Di Pilla, et al. (2025), demostraron que la implementación de medidas de rehabilitación efectivas, como el aislamiento de la envolvente, el reemplazo de ventanas, mejoras en la iluminación, optimización de sistemas de calefacción y aire acondicionado, y la instalación de paneles fotovoltaicos, logró una reducción significativa en la demanda

energética del distrito, pudiendo cubrir hasta el 80% del mismo. La demanda de gas natural se eliminó por completo y la de electricidad se redujo un 48.50% en un contexto de clima mediterráneo.

Rehman, Reda, Paiho y Hasan (2019) plantean la necesidad de buscar métodos de almacenamiento de energía eficientes técnica y económicamente asequibles. En la Figura 4 a y b, se presentan dos ejemplos de Comunidades NZEB, el primero de viviendas multifamiliares *Beddington Zero Energy Development* (BedZED) en Sutton, ejecutado por las políticas de gobierno del Reino Unido *Zero Carbon homes*, que representa un aporte en la transición hacia edificios bajos en carbono (Heffernan, Pan, Liang y de Wilde, 2015); y el segundo el *Distrito Energético de Vauban*, Friburgo, Alemania, donde la combinación de edificios de energía cero neta, la generación distribuida y los sistemas inteligentes de gestión, permiten que el distrito produzca más energía de la que consume anualmente, inyectando el excedente a la red eléctrica local (Valdiviezo, 2022). A la vez, estos proyectos demuestran cómo la planificación integrada y la participación comunitaria son clave para alcanzar un desempeño energético superior a escala distrital, promoviendo la transición hacia ciudades más sostenibles.

a) *b)*

Figura 4: a) Beddington Zero Energy Development (BedZED) en Sutton, Reino Unido. Fuente: Heffernan, Pan, Liang y de Wilde, (2015); y b) Distrito Energético de Vauban, Friburgo, Alemania. Fuente: https://creamadridnuevonorte.com, (2021).

4) Interacción energética comunidad-red

La combinación de estrategias de diseño pasivo y eficiencia energética pueden mantener muy bajo consumo de origen fósil, donde luego, la energía requerida puede ser incorporada mediante la producción de energías renovables in-situ o cercana al edificio. Por ello, la interacción con la red genera un intercambio energético positivo, que contribuye a mejorar el sistema energético exterior y puede beneficiar a otras edificaciones del entorno a partir del traslado del excedente de energía.

Brunetti, et al. (2025) diseñaron una herramienta simplificada para poder abordar un proyecto de PED y conocer su desempeño energético. Se utilizaron herramientas que analizan y simulan el consumo y rendimiento energético de los edificios en distritos o ciudades enteras - Urban Building Energy Models (UBEMs). Mediante enfoques Top-down, que dependen de datos agregados a nivel de ciudad, útiles para tendencias macro-escala y planificación a largo plazo, pero carecen de detalle a nivel de edificio; y Bottom-up, que trabajan a nivel de edificios individuales y luego agregan los resultados para representar distritos enteros. La evaluación de sistemas energéticos permiten analizar los sistemas de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (DHW), incluyendo bombas de calor, calderas de gas y sistemas de calefacción urbana; la integración de energías renovables, calculando el potencial de generación renovable (sistemas fotovoltaicos y energía solar térmica) y la asignación de excedentes (consumo inmediato, almacenamiento en baterías, exportación a la red); y el cálculo del balance de energía primaria, para determinar si la generación de energía renovable excede el consumo total del distrito, utilizando factores de energía primaria de ISO 52000.Asimismo, mediante un análisis de ciclo de vida integral evalúa los impactos ambientales en las fases de producción, operación y fin de vida, centrándose en el Potencial de Calentamiento Global (GWP) y el Consumo Acumulado de Energía (CED).

Marrasso, et al. (2024) evaluaron configuraciones de sistemas energéticos en un distrito de uso mixto para lograr el estado de Distrito de Energía Positiva (PED), apoyando la transición energética y la descarbonización de áreas urbanas e industriales. El trabajo aborda la escasez de ejemplos prácticos de PED en distritos ya existentes y la posibilidad de combinar diferentes tipos de usuarios, como entidades residenciales e industriales, para optimizar la carga energética.

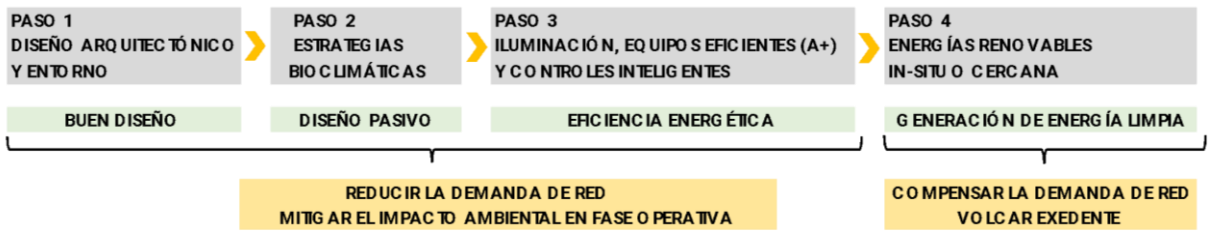
El estudio de casos mediante modelos de simulación paramétrica es ampliamente utilizado en la bibliografía para formular y verificar diferentes estrategias comunidades de uso mixto. Los softwares de simulación paramétrica y también propuestas de optimización mediante algoritmos genéticos de agrupamiento. (Castillo-Calzadilla, Oroya-Villalta & Borges, 2024; Marotta, et al., 2022; Arcas-Abella, J. et al., 2021)

5) Proyecciones para la implementación en el área metropolitana de Mendoza (AMM)

El estudio de las características climáticas del AMM - zona Bioambiental IVa templada fría (según IRAM 11603:2012), resulta clave para iniciar el proyecto de comunidades NZEB y PED, maximizando el uso de energías renovables y la eficiencia energética. En invierno las temperaturas medias oscilan entre 0,8°C (mínima), 7,3°C (media) y 15,7°C (máxima), con una humedad relativa promedio del 49% y una radiación global sobre superficie horizontal de 10,2 MJ/m²; y en verano entre 17,4°C (mínima), 24,9°C (media) y 32,3°C (máxima), con humedad relativa del 63% y radiación global de 26,1 MJ/m². Los vientos predominantes soplan desde el suroeste y oeste, mientras que las precipitaciones anuales rondan los 200 mm (Servicio Meteorológico Nacional, 2021).

Los escenarios climáticos futuros de acuerdo con las proyecciones del 6to Informe del IPCC (2023), permiten valorar el desempeño futuro de los beneficios logrados en el clima presente y a futuro para los años 2050 y 2100. Se ha demostrado, en este contexto, que debido al aumento de la temperatura terrestre, en el futuro será necesario mejorar medidas pasivas de protección solar y avanzar en tecnologías para refrigeración en periodo de verano (Flores-Larsen, Filippín y Barea, 2019).

Es crucial contar con lineamientos adecuados para la realidad local, que sirvan como marco de referencia para el logro de Edificios de Energía Cero Neta (NZEB) y su configuración en comunidades NZEB o PED. Siendo que los edificios que cumplan con dichos requerimientos serán componentes clave para asegurar la efectividad de las soluciones arquitectónicas a corto, mediano y largo plazo. D'Amanzo, (2024) demostró que la adopción de una metodología NZEB regional proporcionó una solución viable para conseguir el balance energético neutro y mejores condiciones de sustentabilidad en edificios de oficinas y estableció un modelo replicable para otras regiones con características similares (Figura 5). La propuesta de metodología regional NZEB indica cuatro pasos consecutivos donde a partir de un diseño arquitectónico que considere el entorno (paso 1), la incorporación de estrategias bioclimáticas en los edificios (paso 2) y la eficiencia energética en los sistemas de iluminación, equipos eficientes y controles inteligentes (paso 3); finalmente se incorporan sistemas de producción de energía in situ o cercano (paso 4). Como aspectos principales del paso 4 se consideran instalar equipos de producción de energías renovables en los edificios, propender a cubrir la totalidad de la demanda energética, minimizar el consumo energético de red y optar por estrategias de agrupamiento de oficinas que puedan transferir recursos energéticos entre sí como se establece en las comunidades NZEB. Por lo tanto, se espera que este método pueda facilitar una aproximación a la determinación de parámetros para el diseño de una PED.



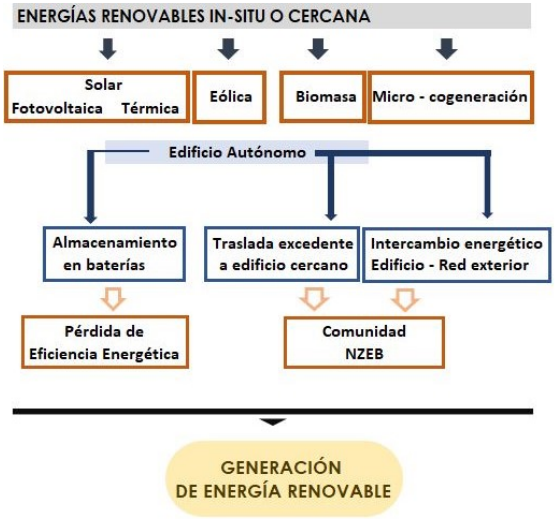


Figura 5: Metodología regional NZEB. Fuente: Elaboración propia.

Resulta importante conocer las particularidades del lugar de emplazamiento, junto con las fuentes energéticas primarias, renovables y no renovables, y la disponibilidad de acceso a la red. Los recursos naturales disponibles en la región deben ser evaluados junto con las tecnologías del mercado. En el AMM se observa con mayor frecuencia el intercambio energético del edifico con la red exterior, con la intención de aprovechar medidas de ahorro energético y tarifario. Los recursos energéticos utilizados en edificios residenciales y no residenciales de la región son el gas natural y la electricidad, por lo tanto, resulta importante verificar los coeficientes de conversión de energía primaria y las políticas de energía distribuida locales para seleccionar sistemas que se adecúen a las condiciones del sitio.

DISCUSIÓN

En el contexto de Mendoza, la irradiancia media anual superior a 2.000 kWh/m² posiciona a la región en condiciones comparables o superiores a las de muchos referentes internacionales. La combinación de un marco normativo favorable (Ley 27.424), un número creciente de usuarios generadores y la madurez tecnológica de los sistemas fotovoltaicos y de gestión energética inteligente configura un escenario de alta viabilidad técnica para la implementación de PED. Sin embargo, persisten barreras estructurales identificadas también en otras regiones latinoamericanas: costos iniciales elevados, baja penetración de sistemas de almacenamiento a gran escala, y limitaciones en la coordinación multisectorial para la gestión comunitaria de la energía.

En estudios internacionales se pudo observar que las estrategias pasivas de diseño bioclimático y las medidas de eficiencia energética son esenciales para reducir la demanda base. Asimismo, en estudios locales de climas áridos las reducciones pueden alcanzar de un 20-30% (Arballo, Kuchen y Chuk, 2019; Betman, Balter, Hongn y Ganem,2023; Barea-Paci y Ganem, 2023) hasta un 68% (Chuk, Medina, Gustavo, Arballo y Kuchen,2024), previo a dimensionar la generación renovable. Esto refuerza que el éxito de un PED no depende únicamente de la potencia instalada, sino de la integración jerárquica: eficiencia → suficiencia → generación → flexibilidad, tal como sugieren Trulsrud & van der Leer (2024). En este sentido, la metodología regional NZEB propuesta se alinea con el enfoque escalonado y adaptativo necesario para entornos con grandes oscilaciones térmicas estacionales.

Desde el punto de vista económico y social, experiencias europeas y africanas muestran que los PED pueden generar retornos a mediano plazo a través de la reducción de la factura energética, la valorización inmobiliaria y la creación de redes de cooperación local. En Mendoza, la aplicación de estos modelos podría vincularse a políticas de desarrollo urbano sostenible, fomentando la participación ciudadana en la gestión de la energía y la integración de soluciones basadas en la comunidad (community-based energy management).

En términos de replicabilidad, el modelo es escalable a otras ciudades argentinas con climas semiáridos o áridos, como San Juan o La Rioja, siempre que se ajusten las estrategias constructivas y la regulación tarifaria local. Para ello, se recomienda fortalecer la coordinación institucional entre municipios, distribuidoras de energía, desarrolladores y universidades, a fin de acelerar la adopción y superar las barreras normativas y financieras detectadas.

En síntesis, la evidencia revisada y el análisis local indican que los PED en Mendoza no solo son técnica y climáticamente viables, sino que pueden convertirse en un vector estratégico de transición energética en el país. La oportunidad radica en capitalizar el recurso solar, optimizar el consumo mediante estrategias pasivas y activas, e institucionalizar modelos de cooperación energética que fortalezcan la resiliencia urbana frente al cambio climático.

CONCLUSIONES

El análisis realizado confirma la hipótesis planteada: en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), la integración de estrategias NZEB a escala comunitaria en distritos de uso mixto es técnica y normativamente viable, y puede generar co-beneficios energéticos, sociales y económicos medibles. Los hallazgos del estudio, en correspondencia con los objetivos propuestos, permiten establecer las siguientes conclusiones clave:

Viabilidad técnica y climática
La elevada disponibilidad de recurso solar, combinada con la capacidad de reducción de demanda mediante estrategias pasivas y activas, posibilita alcanzar balances energéticos neutros o positivos en comunidades NZEB/PED del AMM. Este potencial es superior al de varios referentes internacionales revisados.

Alineación normativa y oportunidades locales
El marco regulatorio vigente (Ley 27.424) y los avances en generación distribuida constituyen una base sólida para la implementación, siempre que se fortalezcan los mecanismos de incentivo, se promueva el acceso a tecnologías de almacenamiento y se fomente la coordinación entre actores públicos y privados.

Co-beneficios y valor social
La configuración de comunidades de uso mixto no solo optimiza la gestión de recursos energéticos, sino que también mejora la calidad de vida urbana a través de mayor resiliencia, cohesión social y diversificación funcional, alineándose con los ODS 7 y 11.
Transferibilidad y escalabilidad
El modelo metodológico regional NZEB planteado presenta potencial de réplica en otras ciudades argentinas con climas semiáridos o áridos, ajustando parámetros constructivos y normativos a cada contexto.

Perspectiva futura
Para maximizar el impacto de las comunidades NZEB/PED en Mendoza y regiones similares, será necesario:
- Consolidar protocolos de diseño y operación basados en métricas unificadas de balance energético y emisiones.
- Integrar sistemas de almacenamiento y gestión inteligente que permitan flexibilidad y estabilidad en la interacción comunidad-red.
- Impulsar modelos de negocio y financiamiento innovadores (p. ej. comunidades energéticas, contratos de rendimiento energético) que aceleren la adopción.
- Vincular estos desarrollos a planes de adaptación al cambio climático y políticas de regeneración urbana.

Con estas acciones, el AMM podría posicionarse como referente nacional en comunidades de energía positiva, contribuyendo de manera tangible a las metas de descarbonización 2030 y 2050, y sentando bases para un urbanismo energéticamente autosuficiente y socialmente inclusivo.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

La presente investigación fue posible mediante el Proyecto PICT 2029-2752, el Proyecto de Investigación Plurianual PIP-CONICET 1117 y el apoyo otorgado por las Becas Doctoral y Postdoctoral del CONICET**.**

NOMENCLATURAS

EE	Eficiencia Energética
EE. RR	Energías Renovables
NZEB	Edificios Energía Cero Neta - siglas en inglés de Net Zero Energy Buildings
PED	Distritos de energía positiva - siglas en inglés de Positive Energy Districts

REFERENCIAS

Arcas-Abella, J., Pagès-Ramon, A., & Bilbao, A. (2021). Herramienta urbanZEB. Hacia el desarrollo de estrategias urbanas de transición energética de edificios. ACE: Architecture, City and Environment, 16(46), 9888. https://doi.org/10.5821/ace.16.46.9888

Atiba, E., & Chwieduk, D. (2024). Design of a positive energy district: A Nigerian case study. Renewable Energy, 237, 121635. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.121635

Battaglia, V., Vanoli, L., & Zagni, M. (2024). Economic benefits of renewable energy communities in smart districts: A comparative analysis of incentive schemes for NZEBs. Energy and Buildings, 305, 113911. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113911

Barea Paci, G. J., & Ganem, C. (2023). Aporte metodológico al cálculo de la influencia del cambio climático en las estrategias pasivas de edificios. VII Congresso Latino-Americano de Simulação de Edifícios; Santa Catarina; Brasil; 2023; 123-129. https://ibpsa.org.br/misc/documentos/proceedingsIBPSALatamFlorianopolis2023/IBPS

Betman, A., Balter, J., Hongn, M. E., & Ganem, C. (2023). Estudio paramétrico de sistemas de parasoles para reducción del consumo energético en climas con alta heliofanía. XLV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente; Salta; Argentina; 2023; 45-55. https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/4592

Betman, A., Balter, J., & Ganem, C. (2022). Incidencia de estrategias pasivas en el comportamiento termo-energético de una vivienda en verano, con diferentes escenarios de orientación en Mendoza. Universidad Nacional del Nordeste; Arquitecno; 20; 12-2022; 12-21. http://dx.doi.org/10.30972/arq.0206255

Brunetti, A., Guarino, F., Ciulla, G., Cellura, M., de Garayo, S. D., & Longo, S. (2025). A simplified tool for early-stage planning of positive energy districts. Energy Reports, 13, 5305–5327. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.03.012

Castillo-Calzadilla, T., Oroya-Villalta, J., & Borges, C. E. (2024). Energy management system for a residential positive energy district based on fuzzy logic approach. Smart Cities, 7(4), 1802–1835. https://doi.org/10.3390/smartcities7040070

CEPAL. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40156

Crea Madrid. (2025). Friburgo, ejemplo de ciudad sostenible integral. https://creamadridnuevonorte.com/noticia/friburgo-ejemplo-de-ciudad-sostenible-integral

Chuk, O. D., Medina, R., Gustavo, C., Arballo, B., & Kuchen, E. Optimización predictiva multiobjetivo de confort y eficiencia energética en edificios de zonas áridas.

D'Amanzo, M. (2024). Edificios de oficinas bajo lineamientos de Energía Cero Neta en zonas de climas templados continentales [Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza].

Di Pilla, L., Cellura, M., Franzitta, V., Guarino, F., Longo, S., Curto, D., & Panno, D. (2025). Fostering the energy transition in a neighbourhood perspective: Towards positive energy districts' application for a university case study. Energy Reports, 13, 5628–5652. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.03.054

Flores-Larsen, S., Filippín, C. y Barea, G. (2019). Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina. Energy and Buildings,

184(December), 216–229. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.015
Huang, P., & Sun, Y. (2019). A clustering-based grouping method of nearly zero energy buildings for performance improvements. Applied Energy, 235, 43–55. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.079
Heffernan, E., Pan, W., Liang, X. y de Wilde, P. (2015). Zero carbon homes: Perceptions from the UK construction industry. Energy Policy, 79(2015), 23–36. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.01.005
IEA. (2022). Technology and innovation pathways for zero-carbon-ready buildings by 2030. International Energy Agency. https://iea.blob.core.windows.net/assets/9bbf7ff0-0a1b-44db-92d2-5741ecdbaf0d/TechnologyandInnovationPathwaysforZero-carbon-readyBuildings.pdf
IPCC. (2018). Global warming of 1.5°C. Chapter 2: Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development (Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., et al.). Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/sr15/
IPCC. (2023). AR6 Synthesis report: Climate change 2023. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/
Kylili, A. y Fokaides, P. A. (2015). European smart cities: The role of zero energy buildings. Sustainable Cities and Society, 15, 86–95. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2014.12.003
Magrini, A., Lentini, G., Cuman, S., Bodrato, A., & Marenco, L. (2020). From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge. Developments in the Built Environment, 3, 100019. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100019
Marrasso, E., Martone, C., Pallotta, G., Roselli, C., & Sasso, M. (2024). Assessment of energy systems configurations in mixed-use positive energy districts through novel indicators for energy and environmental analysis. Applied Energy, 368, 123374. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123374
Marotta, I., Pean, T., Tamm, M., Guarino, F., Cellura, M., Longo, S., & Salom, J. (2022). Hacia distritos de energía positiva: Rediseño de un distrito mediterráneo mediante la integración de tecnologías solares y la activación de la flexibilidad energética. CIES 2022-XVIII Congreso Ibérico y XIV Congreso Iberoamericano de Energía Solar (p. 45).
Minelli, F., Ciriello, I., Minichiello, F., & D'Agostino, D. (2024). From net zero energy buildings to an energy sharing model: The role of NZEBs in renewable energy communities. Renewable Energy, 223, 120110. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120110
Rehman, H., Reda, F., Paiho, S. y Hasan, A. (2019). Towards positive energy communities at high latitudes. Energy Conversion and Management, 196(March), 175–195. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.06.005
Sassenou, L. N., Olivieri, L., & Olivieri, F. (2024). Challenges for positive energy districts deployment: A systematic review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 191, 114152. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114152
Secretaría de Energía – Ministerio de Economía Argentina. (2024). Generación distribuida en Argentina: Reporte anual 2024. https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/electricidad/generacion-distribuida
Trulsrud, T. H., & van der Leer, J. (2024). Towards a positive energy balance: A comparative analysis of the planning and design of four positive energy districts and neighbourhoods in Norway and Sweden. Energy and Buildings, 318, 114429. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114429
UN-Habitat. (2021). Global public space toolkit: From global principles to local policies and practice. https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/06/guia_global_ep.pdf
UN-Habitat. (2022). Envisaging the future of cities: World cities report 2022. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf
UNEP (2023). Emissions gap report 2023: Broken record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). United Nations Environment Programme. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43922
Valdiviezo, A. C. (2022). Ciudades sustentables y ecobarrios: el caso de Vauban. Diseño en Síntesis, (68), 92-105.

NET ZERO ENERGY BUILDING COMMUNITIES (NZEB) IN CLIMATES WITH HIGH SOLAR RESOURCES: REVIEW OF CO-BENEFITS FOR MIXED USE IN MENDOZA.

ABSTRACT
NZEB communities, also known as Positive Energy Districts (PEDs), offer co-benefits in mixed-use building groups related to energy, social and comfort aspects that improve the quality of life of their inhabitants. A review of the state of the art on the subject was carried out, selecting relevant scientific articles published between 2018 and the present. The methodology consisted of a descriptive and exploratory analysis of the following items: 1) Definition of terms, 2) Regulatory Framework, 3) Co-benefits in mixed-use communities, 4) Community-network energy interaction, and 5) Projections for implementation in the Mendoza metropolitan area (AMM). The results obtained explain that there are conceptual variations in the definition that need to be unified, as well as the energy balance metric. RE production, EE, and energy flexibility are recognised as key points. The AMM has a high solar resource that contributes to clean energy production. It is concluded that local implementation is possible, allowing for the achievement of a neutral energy balance in urban districts.

Keywords: Net Zero Energy Buildings, NZEB Communities, Positive Energy Districts, Distributed Generation, Energy Transition

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 32-43 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

ISLA URBANA DE CALOR: PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DESDE ESTRATEGIA SOCIO-CULTURAL Y ECONÓMICA-COOPERATIVA PARA LA ACCIÓN COMUNITARIA EN ESPACIO PÚBLICO DE CIUDAD DE LA RIOJA

Gerardo Oviedo [1,2]; Rodolfo Dematte [1,3]; Josefina Huespe [3]

[1]Instituto de Energías Naturales Renovables. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica. (CENIIT) SECyT. Univerdiad Nacional de La Rioja. Gdor. Luis Vernet y Apóstol Felipe, 5300, La Rioja, Argentina

[2]Instituto de Economía y Sociedad en la Argentina. Universidad Nacional de Quilmes

[3]Unidad Investigativa: Epistemología, Lógica y Ciencias Básicas.

Grupo IEMI Grupo orientado a la realización de Investigaciones en Matemática Aplicada a la Ingeniería y Gestión. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza. Coronel Rodríguez 273, M5500 Mendoza, Argentina

e-mail: oviedo.gd80@gmail.com

RESUMEN: Este trabajo busca analizar una propuesta de configuración comunitaria y participativa, mediante el diálogo entre actores populares, académicos, de gestión/producción cultural y de otros ámbitos profesionales relacionados con el hábitat urbano, del proceso de diagnóstico y mediciones del fenómeno de la Isla Urbana de Calor (IUC) en Ciudad de La Rioja (Argentina). Considerando su potencial contribución a procesos de adaptación y mitigación climática en tal territorio. El fenómeno de la IUC se inscribe en la crisis climática y multidimensional de la sociedad capitalista, y por ende, atraviesa aspectos socio-culturales relacionados con el hábitat construido. La metodología emplea elementos de la formulación de proyectos socio-económicos y análisis F.O.D.A., sin omitir la participación directa y asamblearia de actores involucrados. Se concluye que parte importante en los procesos de mitigación y adaptación al cambio climático en el hábitat construido y los usos de la energía asociados, están dados por interpelación de aspectos culturales de la población y el fortalecimiento de la participación política en el debate energético y socio-ambiental implicado. Así, esta propuesta de aspectos operativos y de formulación de una evaluación y diagnóstico participativo y comunitario sobre IUC, tiene el alcance de una referencia o insumo a disposición de la decisión colectiva de sus participantes.

Palabras clave: isla urbana de calor; evaluación y diagnóstico; aspectos socio-culturales, socio-político-económicos, socio-ambientales y socio-técnicos; La Rioja; crisis capitalista.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la isla urbana de calor (*IUC)* puede ser estudiado dentro de las problemáticas de la sostenibilidad socio-ambiental. El diferencial de temperaturas de las áreas urbanas respecto a las áreas rurales o periurbanas circundantes, como señalan Evans y Schiller (2020) resulta “de la edificación y del uso de energía empleada para actividades urbanas, tránsito vehicular privado y transporte público, y acondicionamiento térmico de edificios e industrias” afectando a su vez al “fenómeno del calentamiento global con consecuencias directas sobre el confort, el bienestar, la salud y la demanda de energía para el acondicionamiento ambiental requerido en el hábitat edificado”. Aunque si se observa con mayor profundidad los procesos que moldean significativamente a la edificación y usos de la energía, se puede visualizar al fenómeno IUC inserto en dinámicas sociales y ecológicas. Desencadenadas por el devenir

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de la sociedad capitalista, con impactos en geografía urbana y gestión del patrón de producción-consumo de energía (Harvey, 2012). Esta manera de comprender la isla urbana de calor, permite abordar el asunto desde una perspectiva inter y trans-disciplinaria al contemplar múltiples aspectos que la atraviesan.

Además de dimensiones socio-técnicas y socio-ambientales también se encuentran las políticas, económicas y culturales, como caras de la compleja (in)sustentabilidad capitalista que afectan a las ciudades y sus relaciones con las zonas rurales y periurbanas. Así, en el contexto de crisis climática (UN, 2023) y multidimensional (económica, política, ecológica y de reproducción social) en curso (Fraser, 2023), para encarar la complejidad que suponen los debates sobre la transición socio-ecológica y energética, los estudios sobre la isla urbana de calor pueden ser un estímulo y una vía para involucrar a diversos sectores sociales en procesos de mitigación y adaptación climática (Evans y Schiller, 2020).

Percepciones, actitudes y desigualdades en torno a la problemática climática y energética

El abordaje sobre las percepciones, actitudes y conocimiento de la población respecto a la problemática de la crisis climática constituye uno de los múltiples desafíos y tareas a encarar para enfrentar sus amenazas y riesgos. Al respecto, en 2022, el ex Min. de Ambiente y Desarrollo Sostenible publicó el Plan nacional de adaptación y mitigación del cambio climático Argentina 2030. En tal informe se señalaba, entre otros aspectos del diagnóstico de riesgos climáticos en la región NOA: la "insuficiente organización en red y participación comunitaria para la prevención y respuesta ante eventos extremos"; el "insuficiente conocimiento, aplicación y normativa con consideraciones de cambio climático en las variables de diseño de infraestructura y vivienda y de información climática para la planificación urbana y el ordenamiento territorial"; y, la "insuficiente sensibilización a la población en cuanto a riesgos asociados a eventos extremos" (MAyDS, 2022, pág. 161). En consecuencia, el desarrollo de iniciativas que contemplen la participación y democratización del debate energético y el cambio climático, permitan cuestionar las percepciones y sensibilidades sobre tales problemas es altamente relevante en el contexto descripto.

Cambio climático e IUC en Ciudad de La Rioja

En el marco de la crisis multidimensional capitalista, que la problemática del cambio climático y la isla urbana de calor se retroalimentan. Henríquez Ruiz et al (2021), señala que el aumento de temperaturas provocado por el cambio climático intensifica el efecto de la IUC provocando disconfort térmico al interior y exterior de los edificios. En tanto que, Evans y Schiller (2020) indican que la isla urbana de calor se agrega al calentamiento global con efectos directos en la salud, el bienestar de la población y también con el aumento de la demanda de energía para el acondicionamiento ambiental requerido por los edificios. El aumento del consumo energético, principalmente abastecido con fuentes fósiles a nivel global pero también en la Argentina (MAyDS, 2022), opera como uno de los principales impulsores de las emisiones de gases de efecto invernadero. En la Ciudad de la Rioja, estudios recientes (Casadei et al., 2021; Dematte et al., 2024) demuestran la existencia del efecto de IUC. En tanto, que Dematte et al (2024) muestran evidencia del fenómeno en horarios nocturnos durante todo el año, en las estaciones de primavera y verano ocurre también en horarios diurnos.

Es a partir de estos antecedentes y consideraciones que señalan la existencia de la isla urbana de calor en Ciudad de La Rioja, que esta ponencia se propone: revisar una propuesta de abordaje comunitario y participativo del proceso de diagnóstico y mediciones del fenómeno de la IUC y su potencial contribución a procesos de adaptación y mitigación climática en tal territorio. En miras a tal objetivo, se estructuran los apartados siguientes. En la sección de Materiales y Métodos, se expone la iniciativa a partir de elementos tomados del Análisis de proyectos socio-económicos y F.O.D.A. En Discusiones se plantean consideraciones y aspectos presentes en la revisión de tal propuesta. En las Conclusiones se plantean las principales implicancias.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se describen aspectos metodológicos a tener en cuenta en la diagramación de un proceso participativo y comunitario como modalidad de diagnóstico y evaluación del fenómeno de IUC, a desarrollar en la Ciudad de La Rioja. Cabe mencionar, por tanto que las actividades de diseño, implementación, análisis y evaluación de tal iniciativa de diagnóstico de la isla urbana de calor supone

un proceso iterativo y asambleario, donde se contemple la intervención directa de actores populares (vecinos y organizaciones de trabajadores), académicos (de entidades de investigación y universidades), gestores culturales (productores, gestores y artistas) así como miembros de entidades profesionales relacionados con el hábitat construido. El punto de vista y eje central del proceso es la participación comunitaria de sectores trabajadores, lejos de dinámicas de decisión tecnocráticas y el empleo de herramientas basadas en la educación popular y la perspectiva de sostenibilidad en prácticas y expresiones de la cultura y el arte. Para exponer la propuesta, se emplean análisis de proyectos socio-económicos y la metodología F.O.D.A.

Propuesta de diagnóstico y evaluación de IUC vista como proyecto
1-Problemática y objetivos:
Las características del hábitat construido, actividades productivas, y las conductas asociadas al uso de energía, intervienen en el fenómeno de la isla de calor (Evans y Schiller, 2020; UN, 2021). En la Ciudad de La Rioja, ubicada en el noroeste argentino, diferentes autores han mostrado la existencia de la isla urbana de calor (Casadei et al., 2021; Dematte et al., 2024). Dados los hábitos de consumo y usos de la energía, incentivado por la dinámica socio-económica, se incrementa el consumo de equipos de refrigeración y la demanda energética. Así se retroalimentan el fenómeno del cambio climático y el efecto de la isla de calor (Henríquez et al., 2021), se deteriora el ecosistema urbano y aumentan los costos económicos para la población con mayor repercusión en los sectores trabajadores y familias más vulnerables (dado el peso de las tarifas en el presupuesto familiar y compra de equipos de refrigeración).

Puesto que la IUC es un fenómeno multidimensional, se propone que su investigación y diagnóstico, sea abordado por medio de un proceso participativo y comunitario. En donde, tal iniciativa implique la centralidad de la perspectiva de vecinos y sectores trabajadores en la toma de decisiones y trabajo conjunto con otros actores de ámbitos académicos, profesionales y gestión cultural en torno al hábitat construido y el patrón de producción-consumo energético que supone. Esto implica que, el análisis de la problemática y establecimiento de objetivos del diagnóstico y evaluación de la IUC en Ciudad de La Rioja sean objeto de debate y surja de tal proceso participativo y comunitario.

A fin de estimular el debate y análisis, a partir de un ejercicio analítico, se plantean algunos objetivos tentativos. Que quedan sujetos a consideración, modificación y prescindencia por parte de protagonistas y participantes de la iniciativa propuesta. Estos son los siguientes:

a) -Objetivo principal propuesto: Contribuir al diagnóstico, mitigación y adaptación de la isla de calor urbano en la Ciudad de La Rioja (Argentina), mediante procesos de participación comunitaria y co-producción de conocimientos que integren a vecinos, organizaciones de trabajadores, actores de ámbitos académicos, de gestión/producción cultural y de otras entidades profesionales.

b) - Objetivos secundários propuestos:
-Desarrollar procesos de concientización y formación a través de mecanismos de educación popular, respecto a las problemáticas involucradas a los usos energéticos, cambio climático y el hábitat construido.
-Establecer mecanismos de co-producción de conocimiento con participación protagónica de vecinos y organizaciones sociales y de trabajadores de la Ciudad de la Rioja, de manera conjunta con gestores culturales, sectores académicos y profesionales.
-Fortalecer procesos de debate colectivo, horizontal que impulsen mecanismos innovadores de democratización y participación en diseño de estrategias y acciones comunitarias frente a problemas energéticos y de la IUC a partir de las necesidades de vecinos y trabajadores de la Ciudad de La Rioja.

De acuerdo a la metodología de análisis socio-económico de proyectos, una vez definidos los objetivos con los que se pretende intervenir en una determinada problemática tal como la IUC, se consideran diversas vías o caminos alternativos para alcanzarlos. Estas alternativas, así como los diferentes aspectos del proceso de diagnóstico, medición y evaluación de la IUC en Ciudad de La Rioja, serán definidos de forma asamblearia, con la participación directa de beneficiarios y participantes del equipo impulsor. No obstante, siguiendo el ejercicio analítico propuesto en este apartado metodológico, a partir de los objetivos tentativos de la sección precedente se determinan tres posibles alternativas.

2- Alternativas potenciales

(A) Acciones mediante proyectos de extensión/transferencia por entidades académicas y profesionales.

(B) Acciones mediante dinámicas de educación popular, gestión cultural - artística y procesos de co-producción de conocimientos.

(C) Acciones mediante campañas de difusión masiva en medios y redes de comunicación.

En esta ponencia, para el estudio de alternativas se utilizó un análisis FODA. La tabla siguiente muestra sus principales componentes para cada alternativa.

Alt. A: Procesos de extensión/transferencia por integrantes de entidades académico/profesionales	***Alt. B: Abordaje mediante procesos de educación popular, gestión cultural-artística y/o co-producción de conocimientos/saberes***	***Alt. C: Campañas Masivas de Difusión***
F *- Existencia de personas especializadas.* *- Existencia de valores de sustentabilidad en entidades profesionales e instituciones educativas.*	*F* *- Dinámica de trabajo colaborativa, horizontal y promotora del pensamiento crítico.* *- Disponibilidad de personas con diferentes conocimientos, dispuestas a trabajar desde lógicas participativas.* *- Práctica centrada en características de los beneficiarios y en su protagonismo.*	*F* *- Existencia de mayores recursos financieros, humanos y materiales en entidades de ámbitos públicos y privados.* *- Acceso a medios de comunicación masivos.*
O *- Mejora en la interacción entre integrantes de entidades académicas, profesionales, gestoras culturales y sectores de trabajadores en la ciudad.* *- Potencial surgimiento de nuevas publicaciones y actividades técnicas de capacitación por parte de integrantes de entidades profesionales y académicas.* *- Eventual reflejo de aprendizajes en algunas personas de sectores vecinales y de entidades en propuestas normativas destinadas a entes gubernamentales de regulación.*	*O* *- Fortalecimiento de participación popular y de trabajadores, en el análisis de la política energética y otras políticas públicas, y en el debate de acciones sobre problemáticas del hábitat construido, tal como la isla de calor y la crisis climática.* *- Potencial desarrollo de propuestas normativas y acciones alternativas elaboradas por sectores trabajadores y desde la perspectiva comunitaria.* *- Potencial desarrollo de procesos de co-producción de conocimiento con organizaciones de vecinos y trabajadores actuales y futuros.* *- Impactos favorables en actores académicos, sectores profesionales y culturales-artísticos y otras organizaciones de trabajadores, a partir de diálogos con integrantes de espacios vecinales y organizaciones de trabajadores.*	*O* *- Difusión masiva de mensajes ligados a los usos energéticos y a mejoras de eficiencia en hábitat construido.* *- Eventual relevamiento masivo de resultados, vía encuestas.*
D *- Dependen de la voluntad de integrantes de entidades académicas y/o profesionales y sus eventuales recursos.* *- Los abordajes pedagógicos por lo general están centrados en saberes académicos/técnicos.* *- Entidades académicas por lo general centradas en intereses de múltiples actores, y en especial del sector empresarial y gubernamental.*	*D* *- Dependen de la interacción y trabajo conjunto de integrantes de organizaciones comunitarias y de trabajadores, entidades académicas y profesionales y de gestión cultural.* *- Se requiere un enfoque de apertura pedagógica, humildad y fuerte trabajo en equipo por parte de integrantes académicos y profesionales para favorecer el trabajo territorial sin imposiciones.*	*D* *- Depende de la voluntad política y recursos de las entidades que las promueven.* *- Su diseño e implementación está guiado por saberes académico/técnicos, contemplados para un público masivo.* *- En estos casos, las motivaciones principales son las de los integrantes de las entidades públicas o privadas que organizan las campañas.*
A *- Dificultades de abordaje de procesos sociales sin estrechos vínculos con organizaciones comunitarias.* *- Potencial presión de otras partes interesadas (empresas y gobiernos por ej.) en el proyecto para sesgar la implementación.*	*A* *- Disponibilidad de tiempo y asentamiento de la confianza mutua.* *- Potencial presión de otros partes interesadas (empresas y gobiernos por ej.) en el proyecto para sesgar la implementación.*	*A* *- Hechos externos del contexto pueden derivar en discontinuidad de la campaña para usar el discurso público en otra problemática.* *- Potencial presión de otras partes interesadas (empresas y entidades profesionales por ej.) en el proyecto para sesgar la implementación.*

Tabla 1. Análisis F.O.D.A - Fuente: Elaboración propia.

A fin de seleccionar una alternativa, se ponderaron los componentes del FODA a partir de un criterio relacionado al objetivo principal propuesto: preferir aquella alternativa que más aporte a la promoción de participación comunitaria con carácter protagónico en el diagnóstico y evaluación de IUC, no solo en la faz pedagógica sino en la toma de decisiones a lo largo de tal proceso. De modo que en este ejercicio analítico, en base al criterio adoptado se selecciona de la alternativa B, dada su mayor potencialidad (en términos de fortalezas y oportunidades) para el alcance de la participación comunitaria y de sectores trabajadores en las decisiones más allá de las debilidades y amenazas que la desafían. En tanto que la alternativa A ubica la centralidad de las decisiones en sectores académicos y profesionales y la C en actores del ámbito gubernamental y empresarial, relegando en ambas la participación comunitaria y de sectores de trabajadores a un lugar secundario. Además las debilidades y amenazas en las alternativas A y C, si bien diferentes, limitan el diálogo con los saberes populares ya sea por preeminencia académica/profesional o por el despliegue de una comunicación masiva sin retroalimentación ni contemplar especificidades comunitarias y de sectores de trabajadores.

3- Descripción e implementación de la iniciativa elegida, actores y territorio

La iniciativa planteada consiste en el desarrollo de instancias de encuentro, debate y formación en dimensiones ecológicas, socioeconómicas relacionadas con el consumo energético y sus usos finales en edificios y viviendas, además de participación en mediciones y análisis del fenómeno de la isla de calor en diferentes barrios de la Ciudad de Rioja. Destinado a la participación de vecinos y organizaciones de trabajadores (ya sean cooperativas, sindicatos en sectores de construcción, industrias, comercio, servicios, etc.). A partir de procesos de educación popular, prácticas culturales y artísticas, participación en relevamiento de temperaturas en puntos de la ciudad y análisis de datos y sistematización de resultados para transferirlos al resto de la sociedad. Lo que implica, la conformación de un equipo impulsor formador por integrantes de organizaciones comunitarias y de trabajadores, miembros de entidades académicas (estudiantes, docentes y profesionales de UNLAR y otras instituciones educativas) profesionales (Consejo Profesional de Ingeniería, Arquitectura y Agrimensura de La Rioja), así como gestores culturales y artistas (Tabla 2).

Equipo Impulsor: asamblea de miembros provenientes de:	***Sectores beneficiarios***	***Entidades con intereses de gobernanza***
- Organizaciones comunitarias y sociales interesadas en problemas del hábitat y energía: Bibliotecas Populares, Centros vecinales, Medios de Comunicación Comunitarios y/o Alternativos, entidades deportivas barriales, organizaciones gremiales interesadas. *- Organizaciones socio-ambientales y comunitarias interesadas en la problemática energética y climática.* *- Docentes y estudiantes de carreras de Arquitectura, Ingeniería y Ciencias Sociales interesadas.* *- Gestores culturales y artistas.*	*- Habitantes de la ciudad y zonas periurbanas.* *- Trabajadorxs de sectores de construcción, servicios y de otras actividades socio-económicas.*	*Personal político y burocrático de Gobiernos Municipal, Municipal y Nacional.* *Partidos Políticos.* *Entes Reguladores.*
Otros sectores y actores indiferentes y/o ambivalentes	***Eventuales Aliados***	***Eventuales grupos empresarios con posturas ambivalentes (favorables u opositoras)***
Medios Masivos de Comunicación. *Resto de habitantes de la ciudad.* *Otras organizaciones sociales, sindicales, religiosas, culturales, etc.*	*Asociaciones Profesionales de Arquitectura e Ingeniería interesadas.* *Otras ONG y organizaciones sociales.* *Otras organizaciones de Trabajadores interesadas en problemática ambiental y energética.*	*Cámaras Empresarias de la Construcción, Industria, Comercio y Servicios. Otras cámaras empresarias. Desarrolladores inmobiliarios.*

Tabla 2: Mapa de actores. Fuente: Elaboración propia

Para esta propuesta se contempló la elaboración de un mapa de actores tentativo. Respecto al cual, el equipo impulsor del proyecto, así como lxs beneficiarios, deberán establecer de manera asamblearia, horizontal y directa las estrategias de relación con tales actores. Además, el equipo impulsor deberá seleccionar núcleos de trabajo en diferentes barrios de la ciudad para avanzar en el estudio de la isla de calor y poder contar con el acompañamiento de comunidad.

Las actividades propuestas implican la participación de beneficiarixs y miembros de las organizaciones sociales, sindicales, comunitarias y académico-profesionales en todas las decisiones y el desarrollo de un proceso horizontal de co-producción de conocimientos y metodologías de investigación-acción-participativa. Lo que implica poner a debate y construcción los indicadores de evaluación del proceso formativo y de revelamientos, los cronogramas de actividades propuestos, la identificación, decisión, obtención y gestión de fuentes y recursos para afrontar las erogaciones previstas, y la elaboración de informes, así como aprobación de cuentas y demás decisiones involucradas. Además, supone la construcción de procesos basados en la confianza mutua y en el diseño de protocolos para resolución de eventuales conflictos y la consideración de accesibilidad cultural y desigualdades para asegurar la participación directa, horizontal y asamblearia de beneficiarios y participantes del equipo impulsor. Y lejos de cualquier idealización de tal proceso, dadas las dificultades operativas y revisión de errores, eventuales conflictos e interacción en las formas de ver la realidad que implica la puesta en práctica, así como aprendizajes y diálogos entre participantes, se contempla una aplicación inicial a pequeña escala, circunscripta a una zona de la ciudad, una cantidad acotada de participantes y con un período limitado.

Respecto a fuentes de financiamiento y recursos movilizados en esta iniciativa, cabe recalcar dos aspectos. Que tal asunto será debatido, definido y decidido por participantes y equipo impulsor (véase el punto siguiente para una estimación tentativa), y que tal financiamiento no imponga condicionalidad política sobre el desarrollo de las actividades, características y desempeño de la propuesta.

Esta iniciativa considera el rol e importancia de la cultura como dimensión de la sostenibilidad (Pascual i Ruiz, 2020), a través de debates, foros, talleres promuevan el pensamiento crítico sobre conocimientos, costumbres, normas y prácticas sociales y económicas. Y valora su contribución a una mayor percepción y sensibilidad respecto a las problemáticas del hábitat construido y la gestión energética asociada. Por ello, la reflexión crítica sobre la cultura y el hábitat serán parte del proceso de investigación-acción-participativa. En especial, las formas de expresión artística (literarias, escénicas, visuales, entre otras) se contemplan como vehículos que promuevan la investigación y exposición de aspectos del fenómeno de IUC y sus dimensiones, favoreciendo las percepciones, sensibilidad, comunicación en cuando a los problemas de la sostenibilidad (Albelda y Sgaramella, 2015).

En relación con el protocolo técnico, se incorpora la descripción detallada del procedimiento de medición y control de calidad de los datos. El estudio mide temperatura ambiental y de aire (Ta), utilizando un termómetro digital calibrado (escala °C y °F). En algunos casos, se realizan testeos de verificación en paralelo con un segundo instrumento para control de consistencia. Las mediciones se efectúan en 12 puntos de muestreo distribuidos estratégicamente en la ciudad de La Rioja, abarcando sectores céntricos y periféricos, con el fin de capturar la variabilidad térmica intra-urbana. Con campañas de medición son mensuales, en franja diurna, manteniendo periodicidad anual. La ubicación geográfica de cada punto se determina mediante GPS y se representa en mapas utilizando QGIS. Los datos se procesan y analizan mediante el software Origin, aplicando estadística descriptiva e inferencial para la comparación temporal y espacial. Los resultados se validan mediante un proceso de verificación cruzada (QA/QC) con datos provenientes del Servicio Meteorológico Nacional, una estación meteorológica privada local y el reanálisis NASA POWER. Este contraste permite asegurar la coherencia de los valores registrados y detectar posibles desviaciones instrumentales.

En cuanto a indicadores, se propone evaluar la intensidad (IUC), frecuencia y exposición poblacional de la isla de calor urbana.Intensidad (IUC): diferencia entre temperatura promedio urbana y no urbana ($\Delta T = TaUA - TaNUA$). Frecuencia: número de eventos con ΔT superior a un umbral definido (por ejemplo, >2 °C). Exposición poblacional: estimación del número de habitantes afectados en los sectores con $\Delta T > 2$ °C, a partir de datos censales georreferenciados. Estos parámetros se representan mediante mapas de isotermas, series temporales e índices térmicos, elaborados con SURFER 16 y QGIS. Los resultados se integran en un repositorio de datos abiertos con sus metadatos correspondientes. Asimismo, el estudio diferencia entre temperatura del aire (Ta) y temperatura superficial terrestre (LST), tal como se describe en el artículo publicado por Dematte y Huespe (2025) en International Journal of Environmental Engineering and Development (Vol. 3, Art. #1). En dicho trabajo se desarrolló una metodología para transformar valores de LST provenientes de MERRA-2 en estimaciones comparables con TaUA y TaNUA, obteniendo altas correlaciones ($R^2 = 0.87–0.91$). Esta metodología se continúa aplicando y actualizando como parte del presente proyecto.

Respecto al marco urbano-climático y fuentes de datos remotos, el estudio propuesto incorpora la clasificación de Zonas Climáticas Locales (Local Climate Zones, LCZ) propuesta por Stewart y Oke (2012) y adaptada regionalmente por Colli, Correa y Martínez (2020) en su aplicación del método WUDAPT en la ciudad de Mendoza. Esta referencia resulta de especial interés por las similitudes morfológicas y climáticas entre Mendoza y La Rioja, y se utiliza como guía metodológica para la clasificación local. Según esta tipología, el área céntrica de la ciudad de La Rioja se corresponde principalmente con la LCZ 3 (compact low-rise), caracterizada por edificaciones compactas de baja altura y escasa vegetación, con algunas zonas de transición hacia LCZ 2 (compact midrise) en sectores de mayor densidad edilicia y edificios de hasta 8 pisos. El entorno urbano presenta poca cobertura vegetal, superficies pavimentadas extensas y alta proporción de materiales absorbentes, lo cual favorece la acumulación térmica. Según estimaciones del relevamiento municipal, en el microcentro de la ciudad existe un déficit aproximado de 3000 árboles, y numerosas cazoletas vacías destinadas a la plantación permanecen sin cobertura vegetal, lo que agrava el balance térmico superficial y reduce el efecto mitigador de la vegetación urbana.

La incorporación de la clasificación LCZ permite robustecer el diseño muestral, mejorar la representatividad de los puntos de medición y facilitar la comparabilidad con estudios internacionales sobre islas de calor urbanas (Stewart & Oke, 2012; Colli, Correa, & Martínez, 2020). En cuanto a las

fuentes de datos remotos, se prevé la utilización de imágenes Landsat 8/9 (sensor TIRS), MODIS y ECOSTRESS, actualmente se utiliza complementadas con los reanálisis NASA POWER y MERRA-2. Estos productos satelitales permitirán ampliar el alcance espacial y temporal del relevamiento, así como estimar LST y variables derivadas en períodos sin observaciones de campo. Las salidas mínimas previstas incluyen: mapas de isotermas y LCZ, series temporales de temperatura, índices térmicos (IUC, frecuencia, exposición), tablas estadísticas, y un dashboard interactivo o repositorio de datos abiertos con los resultados, metadatos y referencias de calibración.

La conexión entre el fenómeno de isla de calor urbana, la demanda energética y la salud poblacional se operacionaliza mediante indicadores proxy. Se analizarán: picos de demanda eléctrica asociados a temperaturas máximas diurnas (datos de EDELaR o registros provinciales), eventos de olas de calor locales (≥3 días con Tmáx ≥ percentil 90), y exposición poblacional a temperaturas extremas, considerando áreas residenciales de mayor densidad y grupos vulnerables (a partir de datos del Sistema Meteorológico Nacional, censo 2022 por INDEC y otras estadísticas locales de la Dirección General de Estadística de Prov. de La Rioja). Estos indicadores permitirán explorar la relación entre condiciones térmicas urbanas, consumo energético y riesgos para la salud, en línea con los objetivos de sostenibilidad y resiliencia urbana.

4- Identificación de beneficios, recursos y costos asociados (de acuerdo al ejercicio analítico)
Estos beneficios, recursos y costos estimados, se presentan a modo tentativo como parte de este ejercicio analítico (Figura 3). Están por tanto sujetos a debate y revisión por parte de participantes e integrantes del equipo impulsor.

Posibles Beneficios Directos:	***Identificación de costos tentativos:***
• *Incremento de la concientización y desarrollo de nuevos conocimientos sobre usos energéticos en el hábitat construido por parte de vecinos, organizaciones comunitarias y sindicales así como entidades académico-profesionales.* • *Creación y ocupación de instancias de debate y participación pública de vecinos y trabajadores en materia de consumo energético y modificación del hábitat construido en atención a las problemáticas (entre ellas la isla de calor).* • *Desarrollo de instancias que permitan la elaboración de propuestas normativas (municipales y provinciales) sobre el hábitat construido a partir de protagonismo de vecinos y trabajadores.* • *Desarrollo de procesos de modificación de hábitos en usos y modificación del hábitat construido.*	• *Tiempos de aprendizaje en procesos autogestivos, de participación comunitaria y de miembros de entidades académicas y profesionales, así como gestores culturales y artísticos.* • *Erogaciones en gastos de movilidad, organización, actividades de mediación y recopilación de datos, procesamiento y análisis de información, comunicación de resultados (a formar parte del diseño de presupuestos mínimos para sostenimiento de un programa de actividades continuadas).* • *Disponibilidad de tiempo de docentes, integrantes de entidades profesionales, de organizaciones de trabajadores, sectores académicos (docentes, estudiantes, no docentes), gestores culturales y artistas.*
Posibles Beneficios Indirectos: • *Fortalecimiento de organizaciones barriales y de trabajadores respecto de otras problemáticas ecológico-económicas y de la necesidad de incrementar su participación pública mediante medidas de mitigación y adaptación.*	***Identificación de recursos tentativos*** ***Fuentes de financiamiento propias:*** • *Recursos derivados de campañas de financiamiento autogestivo para diagnóstico y evaluación (UHH, organizadas por equipo impulsor y beneficiarios).* • *Recursos aportados por integrantes del equipo impulsor y participantes.* ***Fuentes de financiamiento externas:*** • *Recursos derivados de proyectos de investigación y extensión a ser presentados ante organismos y entidades nacionales e internacionales (sin condicionantes políticas).*

Tabla 3: Beneficios, recursos y costos tentativos. Fuente: Elaboración propia

5- Barreras, oportunidades, riesgos y supuestos
La explicitación de barreras, así como oportunidades, riesgos y supuestos son aspectos a contemplar por el equipo impulsor y beneficiarios para ser monitoreados y resueltos. Aquí se presentan algunos a modo tentativo (Figura 4). Posteriormente se establecen algunas consideraciones respecto al consentimiento y accesibilidad, en atención a las barreras y oportunidades identificadas. Y también se mencionan criterios y características que definen al resguardo de datos y los mecanismos de resolución de conflictos, atendiendo a los principales riesgos identificados.

Barreras a Enfrentar:	***Oportunidades:***
• *Confianza del grupo de beneficiarios e integrantes de entidades profesionales académicas en la iniciativa, así como la disposición a un trabajo coordinado.*	• *Potencial de articulación de saberes, prácticas y aprendizajes entre vecinos, trabajadores y miembros de entidades participantes.*

• *Participación de integrantes de sectores vecinales y de trabajadores de distintos barrios involucrados, disponibilidad a cuestionar sus hábitos y concepción de un ambiente urbano.* • *Potenciar la injerencia de entidades gubernamentales, empresarias y otros actores políticos, sesgando el desarrollo de la iniciativa.*	• *Fortalecimiento de participación popular de trabajadores en la política energética y en acciones frente a problemáticas ecológicas y económicas.* • *Impacto favorable en instalaciones académicas profesionales a partir del diálogo con vecinos y trabajadores.*
Supuestos: • *Existencia de un equipo integrante de organizaciones comunitarias, sindicales, asambleas socio-ambientales y entidades académicas profesionales (arquitectos, ingenieros, etc.), capaz de coordinar las actividades.* • *Disponibilidad y participación en encuentros de trabajo, debate y relevamientos de información entre beneficiarios y sectores involucrados.* • *Disponibilidad del presupuesto necesario para realizar las actividades.*	***Riesgos Externos y Mitigación:*** • *Presión de las partes interesadas (empresas, sectores políticos). Mitigación: fortalecer el equipo impulsor, habilitar procesos de toma de decisión colectiva y transparencia, y procesos horizontales de participación.* • *Conflictos entre beneficiarios, participantes y entidades académicas profesionales. Mitigación: desarrollo de protocolos de actuación para la resolución de conflictos.*

Tabla 4. Barreras, oportunidades, riesgos y supuestos. Fuente: Elaboración propia

En cuanto al consentimiento de participantes respecto al estudio propuesto, cabe indicar que el mismo es: voluntario e informado (la participación es libre, voluntaria y basada en la comunicación clara de objetivos propuestos, procedimientos, riesgos y ventajas del proceso de diagnóstico y evaluación de la IUC), contempla el lenguaje claro, simple, preciso y adecuado de presentación para las personas participantes, y puede requerir el completar un formulario de consentimiento con datos individuales mínimos para facilitar la comunicación frecuente y el otorgamiento de un certificado por la participación. En tanto que, respecto resguardo de datos: a) sobre participantes se aclara su uso específico (facilitar la comunicación y la emisión del certificado de participación) y su confidencialidad (resguardo por equipo impulsor de la propuesta); b) respecto al relevamiento y análisis de IUC, se comunica su propósito específico (trabajo de investigación y concientización), así como que su acceso y comunicación es comunitaria.

En tanto que respecto a la accesibilidad, se contempla un enfoque integral que desde el diseño e implementación de la propuesta permita especialmente una participación directa y amplia de sectores vecinales y trabajadores través de: un formato de comunicación y manejo de información adecuado e inclusivo, la disposición y adaptación de espacios físicos, herramientas y materiales para el desarrollo de actividades, diálogo e incorporación de planteos y propuestas de participantes en todas las etapas de la iniciativa. Mientras que se contemplan como principales mecanismos de resolución de conflictos: la puesta en práctica metodología asamblearia de toma de decisiones entre equipo impulsor y participantes de las actividades con encuentros semanales y comisiones o pequeños subgrupos de tareas como modalidad de diálogo y abordaje de problemáticas; la propuesta por equipo impulsor, discusión de modificaciones y aprobación asamblearia de un protocolo específico para gestionar conflictos; aplicación de criterios de cooperación, mediación y consenso para la resolución de conflictos.

6- Criterios de evaluación y comunicación de la iniciativa (ex ante), cumplimiento (durante ejecución) y resultados (ex post)

Tal como fue mencionado anteriormente, la evaluación del proceso y de las actividades, sus indicadores, medios de verificación de resultados deberán ser conversados y acordados por todas las participantes (beneficiarios y participantes del equipo impulsor). Los mecanismos de decisión, revisión, análisis y procesamiento de datos deberán implicar la más amplia participación de todas las personas de forma asamblearia, manteniendo la confianza mutua y definición/aprobación de mecanismos de resolución de conflictos, protocolo de consentimiento/resguardo de datos y medidas de accesibilidad para participantes; y la independencia de instancias gubernamentales y empresariales, como eje central que guíe y articule las diferentes actividades del diagnóstico y evaluación sobre IUC.

No obstante, se proponen como otros criterios relevantes, para facilitar tal proceso, la consideración de multidimensionalidad de factores que inciden en la problemática energética y el hábitat construido a través del problema de la isla de calor y el cambio climático (ecológicos, socio-económicos, subjetivos, culturales, políticos, socio-técnicos). En relación a lo cual, otros criterios implican el considerar y valorar el trabajo trans e inter disciplinar y los aportes de distintas disciplinas (básicas y aplicadas como sociales) en conjunto con los saberes de los beneficiarios y participantes en la iniciativa, y contemplar la

interseccionalidad de situaciones y circunstancias que afectan a las personas involucradas (pertenencia social y laboral, aspectos de géneros, disponibilidad de tiempos, etc.) para encausar conflictos y problemas en la implementación. Y en cuanto a la comunicación, el desarrollo de diferentes expresiones culturales y artísticas, así como procesos de educación popular se contemplan como vías para socializar y movilizar percepciones, conocimientos y sensibilidades frente a la problemática de IUC y posibles acciones para enfrentarla.

DISCUSIÓN

La propuesta de intervención refiere a una modalidad de realizar un diagnóstico de una problemática del hábitat construido como la IUC y los usos energéticos asociados. Así, los procesos de diseño, implementación, evaluación y comunicación de resultados implican, y no pueden escindirse de diferentes dimensiones que acompañan a los problemas sustentabilidad. Es decir, que la modalidad propuesta para tal diagnóstico está atravesada por elementos políticos, económicos, socio-técnicos, culturales, además de los climáticos y socio-ambientales por supuesto.

En la actualidad, las percepciones y conocimientos de la población sobre la problemática climáticas así como el debate sobre los estilos de vida (entre los que se encuentran los usos y generación energética, así como el hábitat construido) enfrentan, en los ámbitos nacional e internacional, el embate de políticas públicas negacionistas en lo ambiental y regresivas en lo económico-social (AADEAA-CAJE, 2025; Poupin, 2023). Esto provoca un empeoramiento de las condiciones materiales de vida y la salud mental, lo que dificulta la reflexividad y limita posibilidades de debates centrales sobre el estilo de vida, dada el pluriempleo y búsqueda de la subsistencia (Cervio et al., 2020; Fernández Nadale, 2025; Krizanovic, 2025). Sin olvidar, además de la exacerbación de la violencia gubernamental (Herz y Summa, 2025; CORREPI, 2025). Estas políticas apoyadas por ultraderechas, globales y locales, se impulsan sobre subjetividades moldeadas por décadas de neoliberalismo y que no solo expresan racismo, xenofobia, misoginia, odio a personas lgbtiq+ y queer sino también nihilismo y agresividad “sin preocuparse por la verdad, la sociedad y el futuro” (Brown, 2020).

En tal marco histórico, una reflexión sobre la cultura, el modo de vida y sus manifestaciones en la reproducción social y urbana permite identificar relaciones de poder y es por tanto política. A la vez, que no está escindida de lo económico. Ya que poner en cuestión la construcción cultural del deseo y la materialidad de los estilos de desarrollo y los usos energéticos (Bertinat, 2018) supone revisar y analizar las actividades económicas. Así, una propuesta como la presentada sobre diagnóstico y evaluación de la IUC en La Rioja, desde la experiencia comunitaria y los ámbitos laborales, podría contribuir a la discusión y visualización de las limitaciones de los capitales y del aparato estatal en la respuesta a las problemáticas de aquella reproducción social (respecto a tales límites véanse los trabajos de Álvarez Huwiler y Bonnet (2022); Pérez Roig (2018)), y, por ende, respecto a la crisis climática asociada.

Si se considera una dimensión socio-técnica, la elaboración propuesta intenta evitar caer en posturas tecnocráticas y en el puro diseño de escritorio, al ofrecer una orientación y estar sometida a la construcción y edición colectiva y en una dinámica de participación horizontal de los actores involucrados (beneficiarios y participantes). A su vez, permite explicitar la relación dialéctica y estrecha entre tecnologías y las relaciones sociales (Thomas, 2008), en cuanto se analizan los procesos que inciden en el hábitat construido y los problemas climáticos.

No obstante, el planteo realizado no implica desconocer las asimetrías en cuento a la participación en el espacio público y en las decisiones que inciden el hábitat y en las políticas energéticas. Por ello, la propuesta busca fortalecer las capacidades y potenciar procesos de democratización del debate sobre los patrones de producción-consumo energético y las problemáticas urbanas tal como la IUC, poniendo en el centro del protagonismo de vecinos y organizaciones de trabajadores (sindicales, barriales, socio-ambientales) en interacción horizontal con integrantes de ámbitos académicos, profesionales, gestores culturales y artistas. En tal sentido, debe dejarse en claro que se trata de un proyecto de diagnóstico y evaluación de una problemática socio-ambiental que es limitada, está sujeta a fallas y supone importantes desafíos en cuanto al trabajo comunitario e interdisciplinario. De modo que, lejos de cualquier idealización su implementación implica enfrentar errores y establecer acuerdos respecto al

manejo de la información y los tiempos, definir mecanismos para resolver conflictos, encarar problemas operativos (que entre otros, incluyen la determinación y gestión asamblearia y horizontal entre participantes e integrantes del equipo impulsor de un presupuesto adecuado, que supone la decisión sobre fuentes de financiamiento y obtención de recursos para cubrir las erogaciones de puesta en marcha). Por lo que conviene y podría, ser emprendida en una primera instancia de forma acotada a pocos actores, a pequeña escala espacial y, por supuesto, circunscripta a un período determinado.

Hay que dejar sentado que si bien los alcances se encuentran acotados al diagnóstico, medición, evaluación de una problemática determinada en un espacio delimitado (IUC en Ciudad de La Rioja o partes de ella, según sea la puesta en práctica de la iniciativa). La existencia de repercusiones, en procesos de pensamiento crítico y la probabilidad de futuros devenires de iniciativas autónomas de acción frente a tal problemática y los impactos del cambio climático, en sectores trabajadores y otros sectores populares, así como demás participantes del proyecto, no pueden descartarse.

CONCLUSIONES

En primer lugar, respecto a la justificación de la propuesta es importante señalar que, entre los múltiples factores y dimensiones de la reproducción de la sociedad capitalista que inciden en el hábitat construido y en los patrones de producción-consumo de energía se encuentran los procesos culturales y la incidencia en el debate público sobre tales problemas de las comunidades y los sectores trabajadores. Por lo que, en el actual contexto de crisis climática, de reproducción social y subjetividades alteradas se torna acuciante desarrollar procesos de pensamiento crítico que tensione percepciones, sensibilidades y conocimientos respecto los mencionados problemas socio-ecológicos. La iniciativa presentada de diagnóstico y evaluación de la IUC apunta a esa dirección. Y abarca, de modo central, dos logros esperados: aumentar la comprensión de la problemática de IUC y su relación con la crisis climática en los actores participantes, y a la vez, incrementar la percepción de urgencia de repuestas a tal problema socio-ecológico. Emplea como mediación al trabajo comunitario y ubica el protagonismo de los sectores trabajadores en interacción con integrantes de disciplinas académicas, profesionales, gestores culturales y artistas.

En segundo lugar, si bien la propuesta plantea un proceso de reflexión contracultural, democratización en el debate energético y sobre los problemas del hábitat construido y una dinámica de coproducción de saberes de manera horizontal entre actores sociales, no debe caerse en su idealización sino tener presente su carácter acotado. Puesto que supone una iniciativa con el objetivo concreto de un diagnóstico, medición y evaluación de la IUC en Ciudad de La Rioja y que está sujeta a distintos desafíos en cuanto al trabajo comunitario e inter y trans-disciplinar (en especial, administración de tiempos, decisiones sobre fuentes de financiamiento y tipo de recursos, acuerdos a partir de diferentes formas de entender la realidad, consentimiento y resguardo sobre datos, accesibilidad), así como la gestión y resolución de conflictos y el aprendizaje a la toma de decisiones de forma asamblearia, autogestora y horizontal. Por eso, se podría contemplar una puesta en práctica inicial limitada a pocos actores sociales, así como un alcance geográfico y temporal reducidos.

En tercer lugar, si bien la propuesta consiste en una modalidad de diagnóstico y evaluación limitada de una problemática socio-ecológica presenta potencialidades no totalmente previsibles. Es decir, esta iniciativa de trabajo por sus características contiene, aunque tenue, un incentivo para derivas autónomas y conscientes en algunos segmentos de la clase trabajadora y otros sectores sociales respecto a la IUC y el cambio climático. Las mismas son difíciles de estimar y no hay garantía de su ocurrencia. Pero puede especularse que, una mayor comprensión de la problemática de la IUC, así como mayor percepción de urgencia frente la complejidad y magnitud de la crisis climática y de reproducción social, podría contribuir a: una revisión de prácticas de consumo de energía y materiales así como de hábitos individuales y colectivos (transporte, alimentación, gestión de residuos, refrigeración/calefacción, etc.) y a mayores demandas y debate social respecto a las transiciones socio-ecológica y energética. En tanto que, de concretarse el proceso de co-construcción de conocimientos y pensamiento crítico por una puesta en marcha exitosa de esta propuesta: podrían cobrar impulso prácticas de empoderamiento de vecinxs y sectores trabajadores mediante acciones autónomas respecto a tales mencionadas problemáticas, a la vez

que podría aumentar la reflexión y visibilidad de limitaciones en capacidad de respuesta del aparato estatal y los capitales en el mercado.

Por último, un cuarto aspecto a mencionar consiste en la relevancia del trabajo inter y transdisciplinario respecto a las problemáticas de la energía y la sustentabilidad. La propuesta rescata la necesidad valorar los diferentes conocimientos (populares, académicos y profesionales) y el trabajo en equipo, en vistas a lograr avances no sólo en la comprensión de la realidad sino también en el impulso a dinámicas sociales, que contribuyan a una transformación social sostenible a partir de la participación comunitaria y de los sectores trabajadores.

REFERENCIAS

AADEAA-CAJE. (2025). Informe de regresiones ambientales bajo el gobierno de Javier Milei 2024-2025. AADEAA-CAJE. https://aadeaa.org/informe-regresiones-ambientales/

Albelda, J., y Sgaramella, A. (2015). Arte, empatía y sostenibilidad: Capacidad empática y conciencia ambiental en las prácticas contemporáneas de arte ecológico. Revista Europea de Literatura, Cultura y Medioambiente, Ecozon@, 6(2), 10–25. https://doi.org/10.37536/ECOZONA.2015.6.2.662

Álvarez Huwiler, L., y Bonnet, A. (Comps.). (2022). Crítica de las políticas públicas: Propuesta teórica y análisis de casos. Prometeo.

Bertinat, P. (2018). Transición energética: ¿Hacia dónde? En F. Gutiérrez y D. di Risio (Comps.), Soberanía energética: Propuestas y debates desde el campo popular (pp. 269–282). Ed. del Jinete Insomne. https://transiciones.info/justicia_climatica/soberania-energetica-propuestas-y-debates-desde-el-campo-popular/

Brown, W. (2021). Frankenstein del neoliberalismo: Libertad autoritaria en las "democracias" del siglo XXI (J. D. Almayda Sarmiento, Trad.). Cuadernos de Filosofía Latinoamericana, 42(124). https://doi.org/10.15332/25005375

Casadei, P., Semmartin, M., y Garbulsky, M. F. (2021). Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. Ecología Austral, 31(1), 190–203. https://doi.org/10.25260/EA.21.31.1.0.970

Cervio, A. L., Listero, P., y D´hers, V. (2020). Cuerpos precarios: Habitar, respirar y trabajar en el sur global. Una mirada desde la sociología de los cuerpos/emociones. EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales, (47), 43–63. https://doi.org/10.5944/empiria.47.2020.27424

Colli, F., Correa, E. N., & Martínez, C. F. (2020). Aplicación del método WUDAPT en la ciudad de Mendoza (Argentina) para definir Zonas Climáticas Locales. Revista Urbano, 42, 18–31. https://doi.org/10.22320/07183607.2020.23.42.02

CORREPI. (2025). Archivo 2024: Represión, tortura y muerte bajo el régimen de Milei. https://www.correpi.org/2025/archivo-2024-represion-tortura-y-muerte-bajo-el-regimen-de-milei/

Dematte, R., Ávila, L., y Huespe, J. (2024). Análisis del efecto de isla de calor urbana diurna y nocturna: Estudio de caso Ciudad de La Rioja, Argentina. En J. Huespe, A. Flamant, y E. Anzoise (Eds.), Actas de resúmenes del VIII Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería: ECEFI 2024. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. (En prensa).

Dematte, R., & Huespe, J. (2025). Transformation of Satellite Data into Air Temperature: A Study in La Rioja, Argentina. International Journal of Environmental Engineering and Development, 3, 1–12. https://doi.org/10.37394/232033.2025.3.1

Evans, J. M., y Schiller, S. (2020). La identificación de la isla urbana de calor como herramienta de diseño y planificación en la evaluación y mitigación de impacto ambiental. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. http://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/actas/article/view/2338/2511

Fernández Nadale, M. (2025, abril 16). Cayó el empleo asalariado privado en el arranque de 2025 y las paritarias no alcanzan a cubrir la inflación. Perfil. https://www.perfil.com/noticias/economia/tension-laboral-cayo-el-empleo-asalariado-privado-y-las-paritarias-no-alcanzan-a-cubrir-la-inflacion.phtml

Fraser, N. (2023). Capitalismo caníbal: Qué hacer con este sistema que devora la democracia y el planeta, y hasta pone en peligro su propia existencia. Siglo XXI.

Harvey, D. (2012). El enigma del capital y las crisis del capitalismo. Akal.

Henríquez Ruiz, C., Smith, P., Contreras, P., y Qüense, J. (2021). Variación en la intensidad de la isla de calor urbana por efecto del cambio climático en ciudades chilenas. Geographicalia, 73, 133–154. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2021735114

Herz, M., y Summa, G. (2025). La extrema derecha como amenaza para la gobernanza mundial. Nueva Sociedad, (315), 74–90. https://nuso.org/articulo/315-la-extrema-derecha-como-amenaza-para-la-gobernanza-mundial/

Krizanovic, P. (2025, mayo 3). Argentina lidera el ranking de burnout en el continente: Afecta al 91% de la población. Iprofesional. https://www.iprofesional.com/management/416626-estres-argentina-lidera-ranking-burnout-sudamerica

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Plan nacional de adaptación y mitigación del cambio climático al 2030. https://www.argentina.gob.ar/ambiente/Desarrollo-Sostenible-y-Gesti%C3%B3n-Clim%C3%A1tica/plan-nacional-de-adaptacion-y-mitigacion

Pascual i Ruiz, J. (2020). La cultura como un pilar del desarrollo sostenible: Aportes a un debate ineludible. Periférica Internacional. Revista para el Análisis de la Cultura y el Territorio, (21), 136–147. https://doi.org/10.25267/Periferica.2020.i21.11

Pérez Roig, D. (2018). Una mirada acerca de la apropiación de recursos energéticos en el capitalismo. En F. Gutiérrez y D. di Risio (Comps.), Soberanía energética: Propuestas y debates desde el campo popular (pp. 55–87). Ed. del Jinete Insomne. https://opsur.org.ar/2018/12/05/libro-soberania-energetica-propuestas-y-debates-desde-el-campo-popular/

Poupin, C. (2023). Cambio climático y extrema derecha (V. Huarte, Trad.). Jacobin. https://jacobinlat.com/2023/11/extrema-derecha-y-cambio-climatico/

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12), 1879–1900. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1

United Nations. (2021). Environment Programme: Beating the heat: A sustainable cooling handbook for cities.

United Nations. (2023). El mes de julio más caluroso de la historia indica que ya estamos en la era del horno global. https://news.un.org/es/story/2023/07/1523012

Thomas, H. (2008). Estructuras cerradas vs. procesos dinámicos: Trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico. En H. Thomas y A. Buch (Eds.), Actos, actores y artefactos: Sociología de la tecnología (pp. 63–100). Editorial de la UNQ.

URBAN HEAT ISLAND: AN EVALUATION AND DIAGNOSIS FRAMEWORK BASED ON A SOCIO-CULTURAL AND ECONOMIC-COOPERATIVE STRATEGY FOR COMMUNITY ACTION IN PUBLIC SPACES OF LA RIOJA CITY

ABSTRACT. This work seeks to analyse a proposal for community-based and participatory configuration, through dialogue between popular actors, academics, cultural management/production professionals and other professionals related to the urban environment, of the process of diagnosis and measurement of the Urban Heat Island (UHI) phenomenon in the city of La Rioja (Argentina). Considering its potential contribution to climate adaptation and mitigation processes in that territory. The phenomenon of UHI is part of the climate and multidimensional crisis of capitalist society and, therefore, cuts across socio-cultural aspects related to the built environment. The methodology employs elements of socio-economic project formulation and S.W.O.T. Analysis, without omitting the direct and assembly-based participation of the actors involved. It´s concluded that an important part of the processes of mitigation and adaptation to climate change in the built environment and associated energy uses is determined by the interplay of cultural aspects of the population and the strengthening of political participation in the energy and socio-environmental debate involved. Thus, this proposal for operational aspects and the formulation of a participatory and community-based assessment and diagnosis of UHI has the scope of a reference or input available for the collective decision of its participants.

Keywords: urban heat island; evaluation and diagnosis; socio-cultural, socio-political-economic, socio-environmental, and socio-technical aspects; La Rioja; capitalist crisis.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 44-53 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

IMPACTO DE LA ORIENTACIÓN Y DEL PORCENTAJE DE FACHADA VIDRIADA (WWR) EN UN MONOAMBIENTE EN LA CIUDAD DE ROSARIO MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA

Lucila Allori, Jésica Álvarez, Soledad Arana, Daniela Chiarito, Gabriel Chiarito, Wanda Gomez Carmana, Guadalupe González, Aimé Muriel, Eugenia Turdó
Centro de Desarrollo de Tecnología. CDT. Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño. FAPyD-UNR. 2000-Rosario
Tel. 0341-3318935 e-mail: arqchiarito@gmail.com

RESUMEN: En el área central y primer anillo de Rosario, de alta densidad edilicia y trama consolidada, las condiciones urbanas afectan el desempeño energético de las viviendas. Este estudio evalúa tipologías residenciales estándar bajo la normativa local (Ordenanza 8757/2011), que promueve la eficiencia energética. La tipología base corresponde a un monoambiente (M0), definido a partir del relevamiento formal y material de la oferta inmobiliaria local. Se analizaron dos escenarios de superficie vidriada (60% y 100%) en cuatro orientaciones. Las simulaciones térmicas dinámicas se realizaron con el software SIMEDIF, empleando la base climática local e integrando los resultados horarios en consumos mensuales de climatización para invierno y verano. Estos resultados, que no consideran las protecciones exteriores solicitadas por la Ordenanza (Fes), indican que en invierno las orientaciones no definen significativamente el comportamiento térmico para estas relaciones de WWR, siendo la desviación estándar mínima de 4 y 8% (60% - 100%), mientras que en verano resulta notoria la incidencia de la orientación debido a las ganancias, especialmente para el oeste que presenta un sobreconsumo que duplica la media de las distintas orientaciones, lo que reafirma la importancia de las protecciones exteriores que la Norma considera.

Palabras clave: Eficiencia energética, simulaciones dinámicas, relación ventana-muro (WWR), SIMEDIF, orientación, zona bioambiental IIIA/IRAM 11603.

1. INTRODUCCIÓN

La optimización de la envolvente arquitectónica para reducir al mínimo las ganancias/pérdidas de calor y la consiguiente demanda de energía requiere optimizar la orientación del edificio, la relación lleno-vacío (WWR, por sus siglas en inglés), las transmitancias de los materiales de la envolvente y los elementos de control solar (Nishita Gulati,2012). Considerando además la variable iluminación, el WWR recomendado se calcula entre el 45 % y el 55 % según simulaciones numéricas (Saber A. Writing, 2021).

En el presente trabajo se analiza el comportamiento térmico de una tipología de departamentos denominado: monoambiente M0, que surge de un relevamiento estadístico formal-material indicado en un trabajo anterior con fachada vidriada al 100% y al 60%, condición límite que establece la Ordenanza 8757/11, para las diferentes orientaciones de la trama urbana consolidada local. Se cuantifica la demanda mensual y de pico horario para junio/diciembre (setpoints 18/24 °C) por orientación para ambos WWR. Esto permitirá ponderar la influencia del factor orientación en el consumo energético de la climatización.

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

La Ordenanza Municipal 8757/2011 de Rosario denominada “Aspectos Higrotérmicos y Demanda Energética de las Construcciones” constituye el primer avance institucionalizado de escala urbana significativa del país en el control higrotérmico de envolventes arquitectónicas, por su condición obligatoria para obtener el Permiso de Edificación Municipal en nuevos edificios. Reglamenta para las nuevas edificaciones urbanas de más de 300m2, las transmitancias máximas admisibles y el factor de exposición solar para envolventes opacas y transparentes con el objeto de mejorar la eficiencia energética edilicia minimizando los flujos térmicos de pérdidas/ganancias.

1.1 Uso de la energía a escala nacional

En Argentina el consumo global de energía (primaria y secundaria) indicado en el Balance Energético Nacional 2024 se aproxima a 54 millones de TEP (Toneladas Equivalentes de Petróleo), siendo el Sector Residencial responsable del 30% de ese consumo, valor por encima incluso del consumo del Sector Industria nacional.

En el análisis discriminado por Formas de Energía, el “Gas por Redes” representa el 36% de las fuentes energéticas disponibles con 19,8 millones de TEP y se destina 9,11 millones al Sector Residencial (46% del total). Por otro lado, en el discriminado: “Gas Licuado”, el sector Residencial ocupa casi la totalidad con registros 1,3 de los 1,8 millones de TEP disponibles. En “Energía Eléctrica", el Sector Residencial es responsable del 30% del total de consumo nacional (Ministerio de Economía Argentina, 2024). Estos guarismos indican la importancia de la necesaria atención sobre el uso más eficiente de la energía en el Sector.

1.2 Uso de la energía a escala del sector residencial

El consumo residencial en la Argentina ha tenido un crecimiento importante en las últimas décadas. En el periodo 1990-2015, el consumo pasó del 21% al 27% del total (Gastiarena et al., 2017). El incremento del consumo del sector residencial entre 1960 a 2021 se muestra en las siguientes figuras.

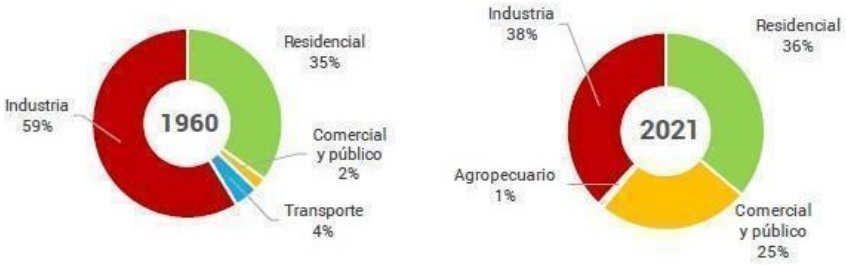


Figura 1: Evolución del consumo final de energía eléctrica por sector (kTEP) 1960-2021.
Fuente: Balance Energético Nacional - síntesis histórica 1960-1921. Secretaría de Energía (p. 18). https://www.argentina.gob.ar/econom%C3%ADa/energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos

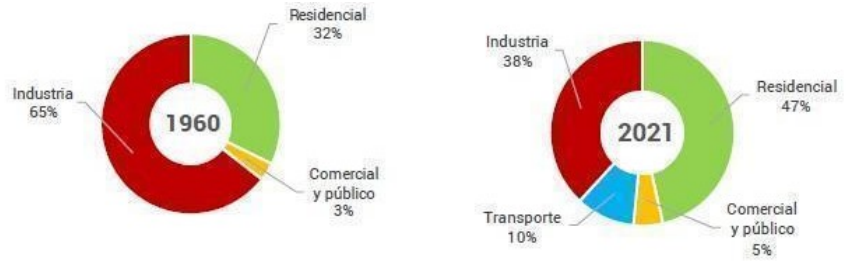


Figura 2: Evolución del consumo final de gas natural por sector (kTEP) 1960-2021.
Fuente: Balance Energético Nacional - síntesis histórica 1960-1921. Secretaría de Energía (p. 18). https://www.argentina.gob.ar/econom%C3%ADa/energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos

Si se desglosan los consumos específicos residenciales como indica el Gráfico 3, se observa la significativa influencia de la demanda nacional (Ministerio de Economía Argentina, 2024) destinada a calefacción o refrigeración de allí el énfasis necesario en considerar la minimización de las pérdidas/

ganancias estacionales, mediante una mayor eficiencia en el diseño de envolventes edilicias, tal como propone la obligatoriedad de la Ordenanza.

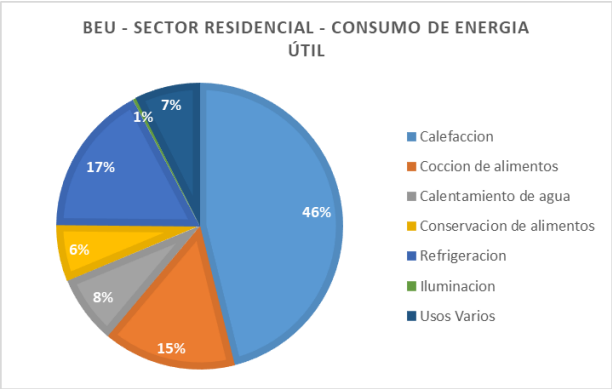


Figura 3: Balance de energía útil 2022 (p.45).
Fuente: Balance de energía útil Argentina 2022. Secretaría de Energía, Ministerio de Economía. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/beu_-_argentina_2022_1_0.pdf

1.3 Instrumentos locales para reducir el uso de energía a escala residencial

La Ordenanza 8757/2011: "Aspectos Higrotérmicos y Demanda Energética de las Construcciones", establece un "control de las condiciones de habitabilidad (IRAM 11605) mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente" (Municipalidad de Rosario, 2011, pág. 7). Esto supone la incorporación de aislación térmica en techos y paredes exteriores y la colocación de protección solar en cerramientos transparentes según su orientación "a fin de propender al ahorro de energía en calefacción y refrigeración en las edificaciones y facilitar el planeamiento y gestión energética ambiental del hábitat" (Municipalidad de Rosario, 2011, pág. 16).

Para obtener esta aprobación higrotérmica el profesional a cargo del proyecto debe presentar como documentación probatoria los detalles constructivos de cada envolvente opaca y transparente para corroborar el cumplimiento de los valores máximos admisibles establecidos en la normativa.

En los opacos -techos y paredes exteriores-, se especifica material y espesor de cada capa del cerramiento compilado en una serie de planillas, que guían al profesional de manera tal que la solución se ajuste a las condiciones de la norma. A continuación, se detalla el contenido de cada una de las planillas solicitadas:

-La Planilla 1 verifica la transmitancia térmica para techos de cada solución constructiva. Los techos comprenden aquellos cerramientos horizontales o inclinados en contacto con el exterior.

-La Planilla 2 verifica la transmitancia térmica para paredes exteriores de cada solución constructiva. Las paredes exteriores comprenden aquellos cerramientos verticales o con una inclinación superior a 60° respecto a la horizontal en contacto con el exterior, incluidas las medianeras expuestas.

-La Planilla 3 verifica la transmitancia térmica y el factor de exposición solar de cerramientos transparentes según la orientación. Los cerramientos transparentes comprenden aquellos cerramientos en contacto con el exterior, cualquiera sea su posición, que presenten algún grado de transmitancia a la radiación solar.

-La Planilla 4 detalla los locales con áreas de vanos y áreas de paredes exteriores.
Los valores obtenidos de las planillas deberán estar admitidos dentro de los parámetros detallados en la Tabla 1 (Municipalidad de Rosario, 2011).

Tabla 1: Parámetros de transmitancia y factor de exposición solar. Programa de Construcciones Sustentables. (Municipalidad de Rosario, 2017)

TRANSMITANCIA TÉRMICA	
Tipo de cerramiento	K máximo admitido (W/m2K)
Techos	0.38
Cerramientos verticales opacos	0.74
Superficies transparentes inferiores al 60% de la pared	2.8
Superficies transparentes superiores al 60% de la pared	1.8
FACTOR DE EXPOSICIÓN SOLAR (Fes)	
Orientaciones	Fes máximo admitido
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°	0.9
Lucernarios y planos inclinados con ángulo inferior a 60°	0.25

Fuente: Programa de Construcciones Sustentables y Eficiencia Energética de la Municipalidad de Rosario.

La Ordenanza establece —además de los parámetros nombrados en apartados anteriores— una diferenciación para fachadas con áreas vidriadas superiores al 60% de la superficie, tal como aparece indicado en la Tabla 1. Esta disquisición se realiza para contener analíticamente las grandes superficies de fachada vidriadas, a la manera del "curtain wall", estrategia de amplia difusión especialmente en edificios destinados a oficinas. La Ordenanza indica la transmitancia térmica requerida de las superficies transparentes menores de 60% en 2.8 W/m^2K y en 1.8 W/m^2K para las mayores a 60%. El principio aplicado es: a mayores áreas vidriadas mayores pérdidas invernales (en horas sin insolación) y ganancias estivales lo que requiere mayor resistencia del cerramiento transparente. Al respecto, en este trabajo se pretende asimismo verificar el ajuste de los parámetros al considerar la modificación de superficie de aventanamiento.

2. METODOLOGÍA

El trabajo se inicia con la definición tipológica de prototipos de vivienda, de acuerdo a las condiciones del mercado para diseños de departamentos en altura. Los modelos surgen del relevamiento de composición espacial, técnicas y materiales constructivos comúnmente utilizados, en conformidad con la normativa vigente en la Ciudad de Rosario que determina U-values (indicados en Tabla 2), propiedades de vidriados, factor de exposición por orientación, entre otras. A partir de esta información, se definieron los datos de entrada necesarios para llevar a cabo simulaciones dinámicas horarias integradas mensualmente para favorecer la comparación con los registros de consumos eléctricos o de gas, que se abordará como próxima etapa.

Tabla 2: Input de U-values de envolvente considerada

Denominación	Elemento	Ubicación	U-value ($W/m^2 \cdot K$)
M1	Muro	Fachada principal	1,23
M2	Muro	Izquierdo (mirando la fachada principal)	0,34
M3	Muro	Divisorio baño/palier	2,00
M4	Muro	Exterior baño (medianera derecha)	0,30
M5	Muro	Exterior monoambiente (medianera derecha)	0,30
M6	Piso	Monoambiente	0,30
M7	Techo	Monoambiente	0,20
M8	Piso	Baño	0,30
M9	Techo	Baño	0,20
M10	Muro	Palier (misma medianera que M2)	1,00
M11	Piso	Palier	0,38
M12	Techo	Palier	0,30
Carpintería aluminio		Vidrio común	3.23

Las simulaciones se desarrollaron mediante el software de código abierto SIMEDIF, diseñado para realizar simulaciones térmicas dinámicas de edificios elaborado por el Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (INENCO) en Argentina. El mismo, permite analizar el comportamiento energético de las edificaciones a lo largo del tiempo; y tiene como objetivo facilitar el estudio y la mejora de la eficiencia energética de los edificios, considerando las variaciones estacionales, la orientación, las características constructivas y otros factores climáticos. Cabe indicar que en la próxima etapa del proyecto se evaluará, mediante otro software, el efecto de las potenciales obstrucciones propias del cañón urbano en áreas de alta densidad edilicia como la local.

En cuanto a la evaluación del impacto del área vidriada en la captación solar, se realizaron simulaciones con dos escenarios: uno con el 60% de la fachada expuesta y otro con el 100%. En ambos casos se contempló la presencia de elementos sombreados, ya que es habitual la incorporación de balcones en las fachadas urbanas de 1.20m. Por ello, se simuló que el área efectiva de ganancia solar se redujera en un porcentaje establecido según cada orientación, respecto del área vidriada total mediante un análisis realizado a partir del software ECOTECT (Autodesk, 2011).

2.1 Definición del módulo base para el análisis

El análisis se realiza sobre un módulo habitacional tipo monoambiente (M0), definido a partir de un relevamiento de la oferta local para viviendas en altura de la trama urbana de Rosario, estableciendo una planta tipo que sirve como base para el análisis.

Este módulo se ubica para las cuatro orientaciones principales —norte, sur, este y oeste— considerando la geometría urbana promedio del Área Central (25m de alto admisible) y el Primer Anillo (19.50m de alto admisible) con el ajuste acimutal de las fachadas en la trama levemente desviada 14 grados.

2.2 Tipología Monoambiente (M0)

El módulo M0 se diseña conforme a las normativas municipales vigentes (Reglamento de Edificación de Rosario, 2025), en relación tanto a la superficie útil como a la total permitida. El relevamiento indica que la mayoría de los monoambientes ofertados en la zona analizada tienen una superficie promedio de 30m², a 40m² debido a la limitación para incluir cocheras. Para este estudio, se trabaja con un módulo de 30 m² que se esquematiza en la figura 4.

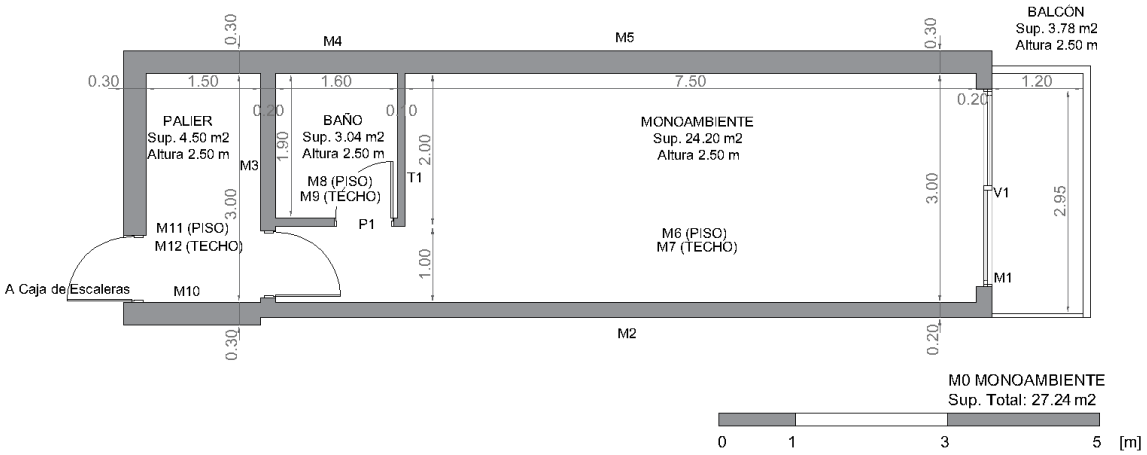


Figura 4: Esquema de planta del módulo M0. Elaboración propia del equipo.

En función del tamaño del parcelario urbano, se observa que el ancho usual en M0 sobre la línea de edificación ocupa usualmente un tercio o la mitad del terreno. Esta configuración suele dar lugar a una envolvente con un muro medianero de un lado y un muro lindero compartido con otra unidad del mismo edificio. Las dimensiones del módulo están determinadas por el ancho mínimo exigido para los locales de primera categoría, que según el reglamento municipal debe ser de 3,00 m. La profundidad se define en función de la normativa de ventilación/iluminación natural, que exige una profundidad mínima equivalente a tres veces el ancho del local. Se incorpora también un área destinada a cocina (espacio de segunda categoría), integrada al ambiente principal, y un baño ubicado al fondo del módulo, contiguo al palier del edificio.

En resumen, los espacios definidos para el módulo M0 son: Exterior, Monoambiente (con cocina integrada), Baño y Palier. El palier particularmente se simula con RAH más exigentes para aproximarlo a la condición de un espacio no climatizado, simulando con RAH 5 palier, RAH 2 monoambiente y RAH 3 baño. La distribución espacial determina, en términos de envolvente y condiciones higrotérmicas, los siguientes elementos: Fachada con ganancia directa (Monoambiente–Exterior), Muro lateral medianero (Monoambiente–Exterior), Muro lateral adiabático (entre unidades locativas), Piso y techo adiabáticos, Tabique interno (Monoambiente–Baño), Muro de fondo (Baño–Palier), Muro Palier–Exterior.

2.3 Definición de los criterios del análisis

Las simulaciones dinámicas horarias se integraron de forma mensualizada para dos periodos: uno correspondiente al mes de diciembre para analizar la condición de verano y el otro correspondiente al mes de junio para condición de invierno. Por otra parte, al tratarse de un estudio sobre esta particular tipología de vivienda, se asume que la climatización de dicho espacio se realizará durante las horas nocturnas con setpoint 24ºC y 18ºC respectivamente, en las que el mismo se encontraría ocupado, considerando por lo tanto 13hs climatizadas de 20 a 09 hs. Esta elección contempla temperaturas interiores aceptables para el uso residencial, considerando un nivel de vestimenta y actividad típicos de uso domésticos para climas templados cálidos como el de Rosario, ubicado en zona bioambiental IIIA según normas IRAM 11603.

Las corridas dinámicas del software utilizan como base los datos climáticos a partir de un archivo de clima para la localidad de Rosario ARG_SF_Rosario.Intl.AP.874800_TMYx.2007-2021, descargado

de la página Climate.One Building.Org (Lawrie, Linda K, Drury B Crawley. 2022) que toma un promedio de las características climáticas del sitio desde el año 2007 al 2021.

Como resultado de esta simulación se obtiene la energía necesaria, hora a hora, en watios para alcanzar la temperatura de confort establecida. Naturalmente cabe considerar (por tratarse de simulaciones) que el análisis de los resultados está sujeto al marco de incertidumbre propio de la variabilidad en los factores ambientales y perceptivos, tales como el índice de estrés WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), las consideraciones de los aportes de calor metabólico de ocupantes, de luminarias, la ropa usada, y otros indicadores subjetivos.

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

3.1. Periodo estival

Con el objeto de definir un valor de referencia a considerar para los consumos de climatización del departamento tipo, se toma el recorte escalonado en la calificación del tarifario de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe, que establece un primer escalón para uso residencial urbano de hasta 120 kWh/mes, que coincide con el valor promedio de consumo para las distintas orientaciones que es de 110 kWh/mes. Este valor solo referencial se indica mediante una línea en los gráficos de consumo.

Los resultados correspondientes a las corridas estivales se expresan en negativo para continuar en concordancia con los datos de salida del programa utilizado para el cálculo, expresando la cantidad de energía a extraer, en este caso, para mantener la temperatura de confort establecida (24º).

Como se observa en la figura 5, correspondiente al mes de diciembre, independientemente del porcentaje de área vidriada, se distinguen diferencias importantes de consumo para las distintas orientaciones, con extremos en la norte y en la oeste.

El prototipo vidriado con orientación norte es el que resulta más eficiente en términos energéticos ya que se ubica un 47% por debajo del consumo mensual de referencia ya apuntado. En el otro extremo la orientación oeste resulta, como era de esperar, la más desfavorable, con un sobreconsumo del 77% para área vidriada del 60% y de 101% para la superficie vidriada al 100% del valor de referencia indicado.

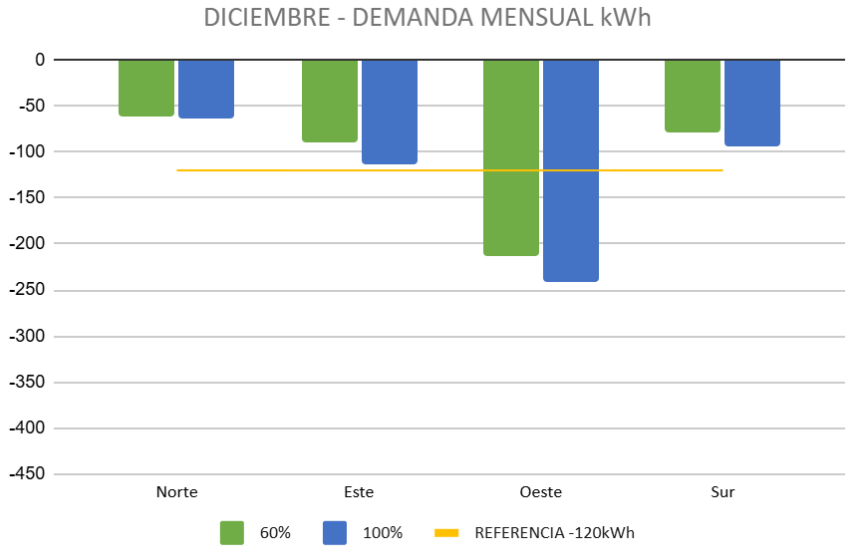


Figura 5: Demanda mensual de climatización en diciembre

En la tabla 3 se muestra el consumo horario pico durante todo el mes simulado para cada orientación y área vidriada (WWR) de 60 a 100%.

Tabla 3: Consumo horario pico diario diciembre

Diciembre - Termostatizado 20 a 8								
Orientación	Norte		Este		Oeste		Sur	
WWR (%)	100	60	100	60	100	60	100	60
Consumo diario mayor en el mes kWh/día	-1,29	-1,20	-2,39	-1,89	-2,55	-1,90	-1.89	-1,64

En relación a los picos de consumo diario cabe indicar que, en las simulaciones del periodo estival, se registran diferencias importantes por orientación. En los casos este y oeste se duplican los valores pico comparados a los demás. Esto es especialmente manifiesto cuando se aumenta el área vidriada al 100%, lo que implica un potencial sobredimensionado del equipo necesario de refrigeración auxiliar. El ángulo de incidencia solar normal al plano de fachada es responsable de este requerimiento. La desviación estándar con relación a la media indica entre 37 y 26% de dispersión para área vidriada de 100 y 60% respectivamente.

En la fachada norte el efecto de incremento del área vidriada no registra modificaciones significativas de consumo, en buena medida debido a la consideración en el modelo de simulación de balcones que protegen la radiación incidente sobre este plano.

3.2. Periodo invernal

Para los resultados de las corridas invernales se utilizan valores positivos, en concordancia con los datos de salida del programa empleado para el cálculo.

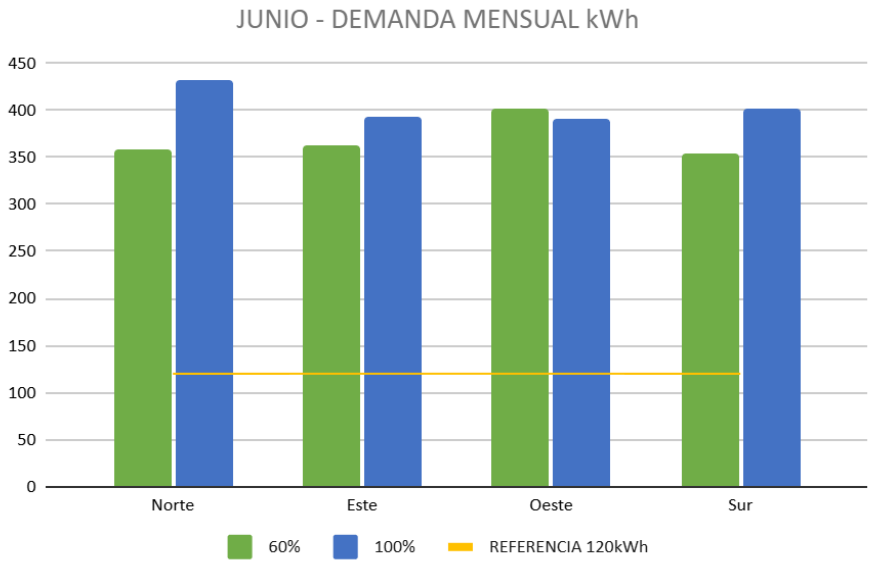


Figura 6: Demanda mensual de climatización en junio

No se detectan diferencias significativas de consumo entre las distintas orientaciones, ni por el incremento de superficie vidriada de 60 a 100%.

Excepto al oeste donde la ganancia por aumento del área radiada mejora levemente el consumo global, el paso de área vidriada de 60 a 100 produce un mayor consumo energético mensual en las demás orientaciones debido a las pérdidas involucradas. En la orientación norte el incremento del consumo derivado del aumento de área vidriada en pérdida es más evidente.

En la tabla 4 se expone el consumo horario de pico durante el mes de junio vidriados de 60 y 100%, dato usualmente útil para la definición de los equipos auxiliares de climatización. En términos generales no se distinguen diferencias importantes de consumo por orientación, incluso la desviación estándar se sitúa entre un 4% y 8% de la media para 60 y 100% de área vidriada respectivamente.

Tabla 4: Consumo horario pico diario junio

Junio - Termostatizado 20 a 8								
Orientación	Norte		Este		Oeste		Sur	
WWR (%)	100	60	100	60	100	60	100	60
Consumo diario mayor en el mes kWh/día	2,98	2,60	2,62	2,54	2,60	2,67	2,66	2,50

Tampoco se verifican diferencias significativas de pico debidas a las modificaciones de superficie vidriada de 60 a 100% en el periodo invernal.

4. CONCLUSIONES

Si bien cabe analizar la eficiencia de conversión energética para climatización de verano e invierno según los equipamientos más usuales, en el invierno el consumo energético de demanda con setpoint a 18°C triplica el del verano para setpoint 24°C, proporción que coincide con el registro global de energía útil expresado en el Balance Energético Nacional.

En cuanto a la condición invernal, la energía requerida para climatización no ofrece variaciones diferenciadas de consumo para las diversas orientaciones de fachada, con una dispersión menor al 12%. Tampoco se detectan variaciones significativas al aumentar la relación de vidrio sobre muro al 100% con diferencias que se ubican del 5% al 18% para las distintas orientaciones.

Los primeros resultados obtenidos en este trabajo indican un mejor comportamiento térmico para la condición estival en la orientación norte, incluso aumentando el área expuesta, mientras que el mayor consumo para refrigeración se registra en la orientación oeste, prácticamente duplicando el consumo medio de las distintas orientaciones.

En una próxima etapa, para salvar una de las limitaciones más importantes entre simulación y modelo real, se evaluará mediante un nuevo software (Energy-plus) el impacto de las obstrucciones propias del cañón urbano considerando que dicha variable incide de forma diferenciada en las ganancias por radiación en pisos altos y bajos. Paralelamente se realizarán comparaciones de los valores obtenidos en las simulaciones dinámicas con registros de consumo reales para dichas tipologías tanto de consumo eléctrico y gas natural.

5. AGRADECIMIENTOS

El equipo desea expresar su agradecimiento a la Dra. Silvana Flores Larsen, integrante del INENCO (Salta), por su generosa disposición y valioso aporte en la capacitación sobre el uso del software de simulación energética SIMEDIF, herramienta fundamental para el avance de este trabajo.

6. REFERENCIAS

Autodesk. Ecotect Analysis & green building studio (2011). Recuperado de: https://www.autodesk.com/es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/Ecotect-Analysis-and-Green-Building-Studio.html el día 06/10/2025.

Empresa Provincial de la Energía. Cuadro Tarifario. Recuperado de: https://epe.santafe.gov.ar/index.php?id=278 el día 06/10/2025.

Gastiarena, M. et al. (2017) Gas versus Electricidad: Uso de la energía en el sector residencial, *PETROTECNIA,* (LVI), 50-60. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/318563142_Gas_versus_electricidad_uso_de_la_energia_en_el_sector_residencial el 06/10/2025.

Lawrie, L. K y Drury B C. (2022). *Desarrollo de Años Meteorológicos Típicos Globales (TMYx)*. Recuperado de: http://climate.onebuilding.org el día 06/10/2025.

Metz, B. et al. (2007). Summary for Policymakers. En Climate Change 2007: Mitigation. Cambridge University Press. Recuperado de: https://doi.org/10.1017/CBO9780511546013.003 el día 06/10/2025.

Ministerio de Economía Argentina. *Balance Energético Nacional de la República Argentina, año 2020.* Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos el día 06/10/2025.

Ministerio de Economía Argentina. *Balance de energía útil Argentina.* Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/beu_-_argentina_2022_1_0.pdf el día 06/10/2025.

Municipalidad de Rosario (2011). *Ordenanza 8757/2011 "Aspectos Higrotérmicos y Demanda Energética de las Construcciones".* Recuperado de: https://www.rosario.gob.ar/normativa/ver/visualExterna.do?accion=verNormativa&idNormativa=75004 el día 06/10/2025.

Municipalidad de Rosario (2021). Decreto n° 1647/2021. Modificación Ordenanza 8757/2011 "Aspectos Higrotérmicos y Demanda Energética de las Construcciones". Recuperado de: https://www.rosario.gob.ar/normativa/ver/visualExterna.do?accion=verNormativa&idNormativa=180249 el día 06/10/2025.

Nishita Gulati (2012). Cost effectiveness in HVAC by building envelope optimization. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/2817/281724144004.pdf el día 06/10/2025.

Norma IRAM 11.603 (2011). Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Norma IRAM 11.605 (1980). Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Reglamento de Edificación de la Ciudad de Rosario (2025). Recuperado de: https://www.rosario.gob.ar/mr/normativa/reglamento-de-edificacion el día 06/10/2025.

Secretaría de Energía (2025). Balance Energético Nacional - síntesis histórica 1960-1921. Secretaría de Energía (p. 18). Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/econom%C3%ADa/energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos el día 06/10/2025.

Writing, S. (2021). Effects of window-to-wall ratio on energy consumption: Application of numerical and ann approaches. Recuperado en: https://cris.unibo.it/handle/11585/908047 el día 06/10/2025.

IMPACT OF ORIENTATION AND WINDOW-TO-WALL RATIO (WWR) ON A STUDIO APARTMENT IN ROSARIO CITY THROUGH DYNAMIC SIMULATION

ABSTRACT: In the central area and first ring of Rosario, characterized by high building density and a consolidated urban fabric, urban conditions affect the energy performance of dwellings. This study evaluates standard residential typologies under the local regulation (Ordinance 8757/2011), which promotes energy efficiency. The baseline typology corresponds to a studio apartment (M0), defined based on the formal and material survey of the local real estate market. Two window-to-wall ratio (WWR) scenarios (60% and 100%) were analyzed across four orientations. Dynamic thermal simulations were carried out using the SIMEDIF software, applying the local climatic database and integrating hourly results into monthly heating and cooling energy demands for winter and summer. These results, which do not include the external shading devices required by the Ordinance (Fes), indicate that in winter, orientation does not significantly affect the thermal behavior for these WWR, with a minimum standard deviation of 4% and 8% (60%–100%). In contrast, during summer, orientation has a marked influence due to solar gains—especially for the west orientation, which shows an overconsumption that doubles the average of the other orientations—reinforcing the importance of external shading devices considered by the regulation.

Keywords: Energy efficiency, dynamic simulations, window-to-wall ratio (WWR), SIMEDIF, orientation, bioenvironmental zone IIIA/IRAM 11603.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 54-64 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

MODELO UNIDIMENSIONAL PARA LA SIMULACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL FLUIDO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Marta R. Laspiur[1], María Vilte[2], Sonia Esteban[2], Germán Salazar[1,2], Adrián Rovero[3]
[1]Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, CONICET-UNSa)
Avenida Bolivia 5150 – (4400) Salta.
[2]Facultad de Ciencias Exactas – Universidad Nacional de Salta (UNSa)
Avenida Bolivia 5150 – (4400) Salta – Argentina
[3]Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA)
e-mail: roxslaspiur@gmail.com

RESUMEN: En este trabajo se presenta un modelo unidimensional, basado en el concepto de redes térmicas, para estimar la temperatura media de fluidos en tanques de almacenamiento expuestos a condiciones ambientales variables. El análisis se basa en el sistema tanque-agua instalado en el campus del Instituto de Energía No Convencional (INENCO), en la Universidad Nacional de Salta (UNSa), en el cual se registraron datos de temperatura del fluido. Los datos ambientales se obtuvieron del registro del Laboratorio de Edificios Bioclimáticos del INENCO. El modelo incorpora los principales mecanismos de transferencia de calor, conducción a través de las paredes del tanque, convección interna del fluido, convección natural y forzada de las superficies externas, los efectos radiativos con el ambiente y la conducción a través del piso mediante una resistencia térmica adicional. Los resultados de la simulación reproducen adecuadamente los datos medidos, con diferencias menores. Además, se analiza la variación temporal de los coeficientes de convección externos para la pared lateral y la tapa del tanque. Este estudio proporciona una herramienta sencilla para el análisis térmico de sistemas de almacenamiento de fluido.

Palabras clave: modelo unidimensional térmico, simulación, tanque cilíndrico.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de almacenamiento de fluidos se presentan en muchos procesos de diversos sectores industriales, encontrando aplicaciones en acumuladores de agua (Ievers y Lin, 2009), sistemas solares de calentamientos de agua (Mavros et. al., 1994) y tanques de almacenamiento de petróleo (Cotter y Charles, 1993). El estudio de la transferencia de calor en estos sistemas es importante para controlar el comportamiento térmico a fin de optimizar la eficiencia y calidad de los procesos. En este sentido, es de interés conocer la temperatura media del fluido que depende de la interacción con las paredes del tanque y del ambiente externo.

El modelado térmico unidimensional en tanques de almacenamiento ha sido abordado por diversos autores. Los modelos multinodos, dividen el tanque en múltiples capas para capturar los efectos de estratificación térmica (Duffie y Beckman, 1991). Por otro lado, Oliveski et. al. (2003) desarrollaron un modelo bidimensional que considera los efectos de convección mixta en el interior de tanque, constatando que los modelos unidimensionales se aproximan muy bien pero recurren a procedimientos correctivos sin fundamentos físicos.

La transferencia de calor unidimensional mediante una red de resistencias térmicas, simplifica el análisis, e inicialmente puede ser una aproximación muy conveniente. Los efectos transitorios pueden considerarse mediante un balance de energía, lo que permite conocer la evolución temporal de la temperatura del fluido en el tanque.

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un modelo unidimensional para un tanque cilíndrico con agua, expuesto al medio ambiente. El modelo tiene como propósito establecer una base sólida para determinar la temperatura media del fluido y los coeficientes de convección externos, que posteriormente puedan incorporarse en simulaciones más complejas. La facilidad de su aplicación permite adaptarse a diferentes situaciones como la modificación de la geometría del tanque, del tipo de fluido, incorporación de aislante térmico o variación en las condiciones ambientales.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema estudiado, consiste en un tanque cilíndrico con agua, ubicado en el campus del Instituto de Investigaciones de Energía No Convencional (INENCO), en la Universidad Nacional de Salta (UNSa). Se encuentra apoyado directamente sobre un piso de concreto y expuesto a las condiciones ambientales del lugar.

Las dimensiones del tanque son: altura 1,52 m, diámetro 1,32 m, espesor estimado de las paredes de 0,01 m, capacidad 2000 litros. Debido a la cúpula formada por la tapa, el tanque se llena quedando en esta región una capa de aire de 0,1 m, que en un principio despreciamos.

Para estudiar el comportamiento térmico del sistema se tomaron medidas de temperatura del agua, se emplearon tres sensores tipo termocupla, de cable termopar tipo T (cobre - constantan), con aislamiento de teflón y un diámetro de hilo de 0,8 mm. Para la calibración de las termocuplas se empleó un baño portátil termostático de aire, equipado con un visor digital que indica la temperatura interna. Este valor fue verificado mediante un patrón de mercurio. La temperatura del baño se reguló en intervalos de 5ºC, desde 25ºC hasta 70ºC. Las mediciones se realizaron utilizando el mismo datalogger empleado en las experiencias experimentales, asegurando consistencia en la adquisición de datos. Los sensores se ubicaron en el eje del tanque, se mantienen en su lugar fijados a un tubo de PVC ubicado en el centro de la base del tanque y que sale por la tapa superior, por el cual ingresan las termocuplas ubicadas a 0,38 m, 0,76 m y 1,14 m de altura. Los registros de temperatura se realizan cada minuto, desde el 27 de diciembre hasta abril del 2025.

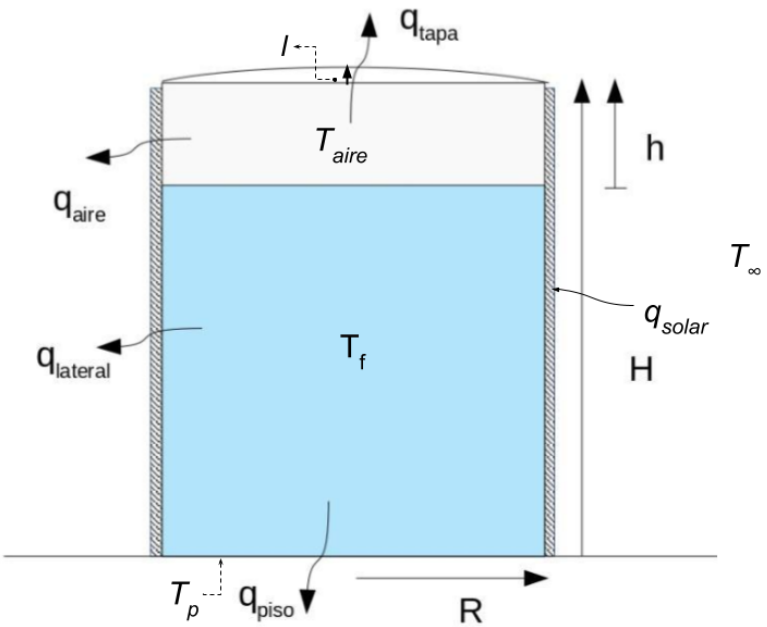


Figura 1: Tanque cilíndrico de radio R y altura H. Representación de las pérdidas de calor a través de sus paredes

Se emplearon datos de temperatura ambiente, radiación y velocidad de viento de los archivos climáticos del Laboratorio de Edificios Bioclimáticos, correspondientes al periodo de enero a abril de 2025.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para estudiar el comportamiento térmico del tanque cilíndrico lleno de agua expuesto al ambiente, que intercambia calor con el medio externo, se ha considerado que el problema es unidimensional, con pérdidas térmicas en las superficies: lateral, superior (tapa) e inferior (piso), Figura 1. En la práctica, estos tanques no se encuentran completamente llenos, ya que debido a la concavidad de la tapa existe una capa de aire en la parte superior del fluido. A continuación, se presentan las expresiones que cuantifican la transferencia de calor en cada una de las superficies:

Tapa del tanque: $$q_{tapa} = U_{tapa} A_{tapa} (T_\infty - T_f) \quad (1)$$

Pared lateral con aire: $$q_{aire} = U_{aire} A_{aire} (T_\infty - T_{aire}) \quad (2)$$

Pared lateral con agua: $$q_{lateral} = U_{lateral} A_{lateral} (T_\infty - T_f) \quad (3)$$

Base del tanque: $$q_{base} = U_{base} A_{base} (T_p - T_f) \quad (4)$$

$$q_{neto} = q_{tapa} + q_{aire} + q_{lateral} + q_{base} + q_{solar} \quad (5)$$

donde:

A : indica las diferentes áreas de las superficies involucradas (m²), *Aaire* corresponde a la superficie lateral de la capa de aire, *Alateral* la superficie lateral en contacto con el fluido, a modo de ejemplo.
q : tasa de transferencia de calor correspondiente a cada una de las superficies del tanque (W)
qneto : tasa de transferencia de calor total que gana o pierde el sistema (W)
q_{solar} : tasa de transferencia de calor debida a la radiación solar (W)
$T\infty$: temperatura ambiente (ºC)
T_f : temperatura del fluido (ºC)
T_{aire} : temperatura de la capa de aire superior (ºC)
Tp, : temperatura del piso en contacto con la base del tanque (ºC)
U : coeficiente de transferencia de calor global (W/m^{2}K)

Las áreas se definen según la geometría del tanque:

$$A_{tapa} = 2\pi R l \quad (6)$$

$$A_{aire} = 2\pi R h \quad (7)$$

$$A_{lateral} = 2\pi R (H - h) \quad (8)$$

$$A_{base} = 2\pi R^2 \quad (9)$$

donde:

l : altura de la cúpula de la tapa (m)
R : radio del tanque (m)
H : altura del tanque (m)
h : altura de la capa de aire (m)

La transferencia de calor unidimensional se modela mediante una red de resistencias térmicas, tal como se representa en la Figura 2. En cada superficie se determinan los coeficientes globales de transferencia de calor (U). En el caso de la pared lateral, la resistencia térmica total es la suma de las resistencias térmicas del fluido a la pared interna del tanque, de la pared interna a externa del tanque y de la cara externa del tanque al ambiente exterior.

$$\frac{1}{U_{lateral}} = R_{lateral} = \frac{1}{h_{ci}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_{c_e} + h_r} \tag{10}$$

donde:

e : espesor de las paredes del tanque
k : conductividad térmica de la pared del tanque
h_{ci}, h_{c_e}: coeficientes de convección lateral interno y externo, respectivamente
h_r : coeficiente radiativo lateral

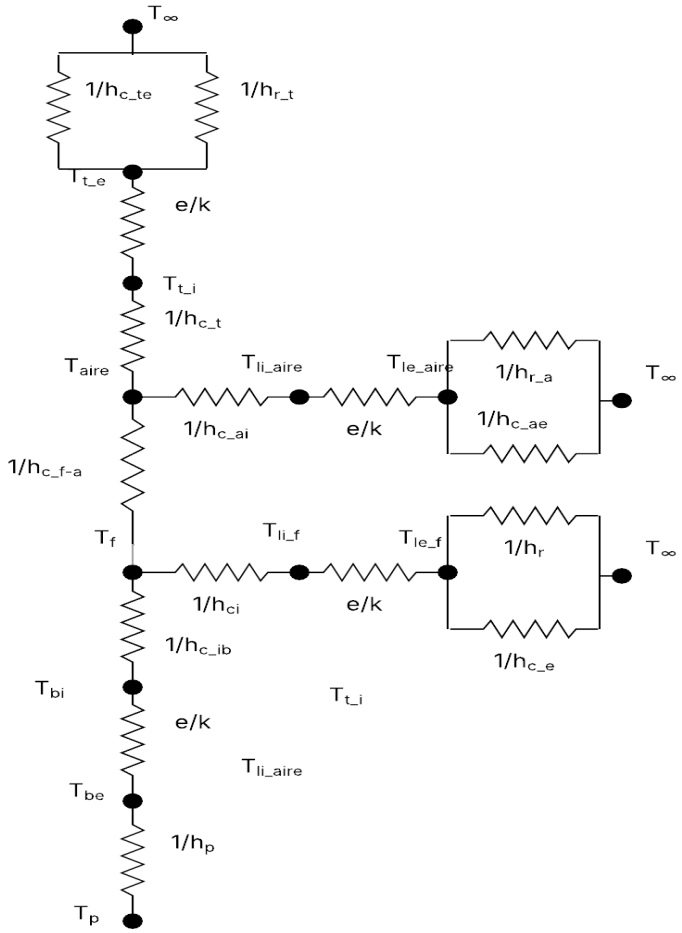


Figura 2: Circuito térmico del sistema

De manera análoga, y siguiendo el esquema de la Figura 2, se definen los coeficientes globales para la tapa y base, considerando para cada caso las resistencias de convección interna, conducción a través de la porción de pared lateral, tapa y base, y convección o conducción hacia el medio en contacto (aire o piso):

$$\frac{1}{U_{aire}} = R_{aire} = \frac{1}{h_{c_{ai}}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_{c_{ae}} + h_{r_a}} \tag{11}$$

$$\frac{1}{U_{tapa}} = R_{tapa} = \frac{1}{h_{c_t}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_{c_{te}} + h_{r_t}} \tag{12}$$

$$\frac{1}{U_{base}} = R_{base} = \frac{1}{h_{c_{bi}}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_p} \tag{13}$$

donde:

Rlateral, Raire, Rtapa y *Rbase* : resistencias térmicas de cada superficie (ºC/W),
hc : coeficientes de convección internos y externos (W/m² K),
hr : coeficientes de transferencia de calor por radiación (W/m²K)
hp : coeficiente de transferencia de calor entre la base y el piso donde se encuentra apoyado el tanque (W/m²K)

Coeficientes convección interna de la pared lateral y las superficies horizontales
El número de Nusselt de la pared lateral interna se determina a través de la correlación de Churchill y Chu (Incropera, 1999):

$$Nu = \left\{0{,}825 + \frac{0{,}387Ra_H^{\frac{1}{6}}}{[1+(\frac{0{,}492}{Pr})^{\frac{9}{16}}]^{\frac{8}{27}}}\right\}^2 \text{, para todo rango de } Ra_H \tag{14}$$

Se asume que la pared es isoterma, donde Ra_H es el número de Rayleigh en función de la altura del tanque.

Para las paredes horizontales internas se consideran las expresiones de McAdams (Incropera, 1999), el número de Rayleigh se expresa en función de la longitud característica $L=A_s/P$, donde A_s es el área de la superficie y P el perímetro de la misma. Para la superficie orientada hacia arriba (base del tanque) se tiene:

$$Nu = 0{,}54Ra_L^{\frac{1}{4}}, \text{ para } 10^4 \leq Ra_L \leq 10^7 \tag{15}$$

$$Nu = 0{,}15Ra_L^{\frac{1}{3}}, \text{ para } 10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11} \tag{16}$$

Para la superficie orientada hacia abajo (tapa del tanque):

$$Nu = 0{,}27Ra_L^{\frac{1}{4}}, \text{ para } 10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10} \tag{17}$$

El coeficiente de convección h para cada superficie se obtiene a partir del número de Nu determinado anteriormente, empleando la expresión:

$$h = \frac{Nu\ k}{L} \tag{18}$$

donde:

k : conductividad térmica del fluido (W/mK)
L : longitud característica o altura del fluido sobre la superficie en contacto (m)

Las propiedades de los fluidos (agua o aire) se determinan a la temperatura de película T_{film}, es decir, el promedio entre la temperatura del fluido (T_f, T_{aire} o $T\infty$) y la superficie adyacente:

$$T_{film} = \frac{T_{fluido} + T_{superficie}}{2} \tag{19}$$

Coeficientes de conducción
Se asume que el espesor (*e)* de las paredes del tanque y el coeficiente de conductividad térmica del material (k) son constantes y uniformes en todas las superficies del tanque. Los coeficientes de transferencia de calor por conducción, tanto en la pared lateral como en la base y tapa, están dados por *e/k.*

La estimación de la transferencia de calor hacia o desde el piso es uno de los aspectos más complicados de determinar. En un principio, se asume que la base del tanque está sometida a una condición temperatura constante sobre un sólido semi-infinito isotrópico (piso), con una conductividad térmica k_p. Para modelar la resistencia térmica de contacto se emplea la expresión clásica propuesta por Carslaw y Jaeger (Bejan y Kraus, 2003), válida para un área circular de radio R en contacto con un sólido semi-infinito, donde el resto de la superficie del sólido es adiabática:

$$R_{base} = \frac{1}{h_p} = \frac{\pi R}{4k_p} \tag{20}$$

Coeficientes por radiación

Durante el día, los coeficientes de transferencia de calor por radiación en la tapa y pared lateral se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$h_{r_t} = \varepsilon_t \sigma (T_t^2 + T_\infty^2)(T_t + T_\infty) \tag{21}$$

$$h_r = \varepsilon_L \sigma (T_l^2 + T_\infty^2)(T_l + T_\infty) \tag{22}$$

donde:

ε : emisividad correspondiente a la tapa y pared lateral del tanque
σ : constante de Stefan-Boltzmann (W/m^2K^4)
T_t y T_l : temperaturas de la tapa y lateral externas (K)

En regiones de clima seco y con poca nubosidad, por la noche se produce un fenómeno de enfriamiento radiativo donde los cuerpos emiten más radiación de la que reciben del cielo. Este efecto puede caracterizarse mediante una temperatura de cielo o a través de una emisividad de cielo (ε_{cielo}). Considerando este fenómeno, las expresiones para los coeficientes radiactivos se modifican de la siguiente manera:

$$h_{r_t} = \varepsilon_t \sigma (T_t^2 + \varepsilon_{cielo}\, T_\infty^2)(T_t + \varepsilon_{cielo}\, T_\infty) \tag{23}$$

$$h_r = \varepsilon_L \sigma (T_l^2 + \varepsilon_{cielo}\, T_\infty^2)(T_l + \varepsilon_{cielo}\, T_\infty) \tag{24}$$

Se adopta una correlación específica de la emisividad de cielo en función de la temperatura de rocío para Salta, desarrollada por Frigerio (Busano y Frigerio, 2007):

$$\varepsilon_{cielo} = 0.772 + 0.41 \left(\frac{T_{rocío}}{100}\right) + 0.51 \left(\frac{T_{rocío}}{100}\right)^2 \tag{25}$$

donde:

$T_{rocío}$: temperatura de rocío (°C)

Coeficientes de convección externa de la pared lateral y la tapa

Para la transferencia de calor de las paredes expuestas al ambiente, se tiene en cuenta dos consideraciones: convección natural (sin viento) y forzada (con viento). En el primer caso se emplean las expresiones mencionadas anteriormente, Ec. (14) para la pared lateral y Ecs. (15 - 17) para la tapa y base del tanque.

En el caso de convección forzada, se considera la expresión de flujo externo sobre un cilindro con una corriente en sentido perpendicular de Churchill y Bernstein (Incropera y Witt, 1999):

Tapa del tanque:

$$Nu_D = 0.3 + \frac{0.62\, Re_D^{1/2}\, Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} \tag{26}$$

donde:

Re_D : número de Reynolds en función del diámetro del cilindro
Pr : número de Prandtl para el fluido

Para la tapa, se utiliza la correlación correspondiente a placa horizontal con viento paralelo, que cumpla la condición $0{,}6 \leq Pr \leq 60$, las expresiones resultantes son (Incropera y Witt, 1999):

$$Nu = 0{,}664 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}, \text{ para flujo laminar} \quad (27)$$

$$Nu = 0{,}029 Re_D^{4/5} Pr^{1/3}, \text{ para flujo turbulento} \quad (28)$$

MODELADO NUMÉRICO

El modelo se implementó en Python, utilizando librerías como Numpy para el cálculo numérico y Matplotlib para la visualización de los resultados. Con el objetivo de simular la evolución temporal de la temperatura media del fluido en el tanque, se consideran las interacciones térmicas con el ambiente.

Las propiedades termo físicas consideradas son:

- conductividad térmica de las paredes de plástico: $k= 0,4$ W/mK
- emisividad de las superficies exteriores: $\varepsilon=1$ (superficies de color negro)
- conductividad térmica del piso de cemento, $k_p=1,4$ W/mK
- rango del número de Prandtl del agua en el periodo de análisis (19-40 ºC): Pr = 7,28-4,34.

Las propiedades termofísicas del agua y del aire exterior se actualizaron en cada paso temporal, en función de la temperatura.

La simulación comienza con la temperatura medida del fluido, como condición inicial. La temperatura del piso se establece inicialmente en un valor 4ºC por debajo de la temperatura ambiente. Las temperaturas de las superficies internas (y externas) de la pared lateral y tapa se calculan como el promedio de la temperatura del fluido y ambiente.

El modelo utiliza como datos de entrada mediciones de radiación solar, velocidad de viento y temperatura de rocío. Para determinar la transferencia de calor en las superficies externas, en cada paso temporal se evaluó la velocidad del viento: si v_{viento}=0 m/s, se asume un régimen de convección natural; en cambio, cuando v_{viento}>0 m/s, se considera convección forzada.

Para modelar el enfriamiento radiativo nocturno, cuando la radiación solar es nula, los coeficientes de transferencia de calor por radiación se calcularon utilizando la temperatura de cielo. Para las condiciones diurnas, se utilizó la temperatura ambiente.

Mediante un método iterativo se procedió a estimar las temperaturas de las superficies del tanque y los coeficientes de convección externos para la pared lateral y la tapa. La discretización temporal se realiza con un paso temporal de 900 segundos; y en cada paso se actualizan las tasas de transferencia de calor, considerando las condiciones ambientales para ese tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para el análisis, se consideraron los datos correspondientes a los meses de enero, febrero, marzo y abril. Los registros de temperatura del agua en el interior del tanque se realizaron con una frecuencia de 1 minuto, procesando con medias de 15 minutos para implementar en el modelo.

La Figura 3, muestra a modo de ejemplo, las mediciones de temperatura registradas en tres alturas diferentes a lo largo del eje central del tanque. Las diferencias térmicas observadas son inferiores a 3 ºC, lo que confirma la estratificación térmica del fluido. Esta variación térmica pequeña justifica la aproximación de la temperatura media global del agua como el promedio aritmético entre las tres temperaturas medidas.

Por otra parte, los datos ambientales se registraron con una frecuencia de 15 minutos, y se incorporaron directamente en el modelo.

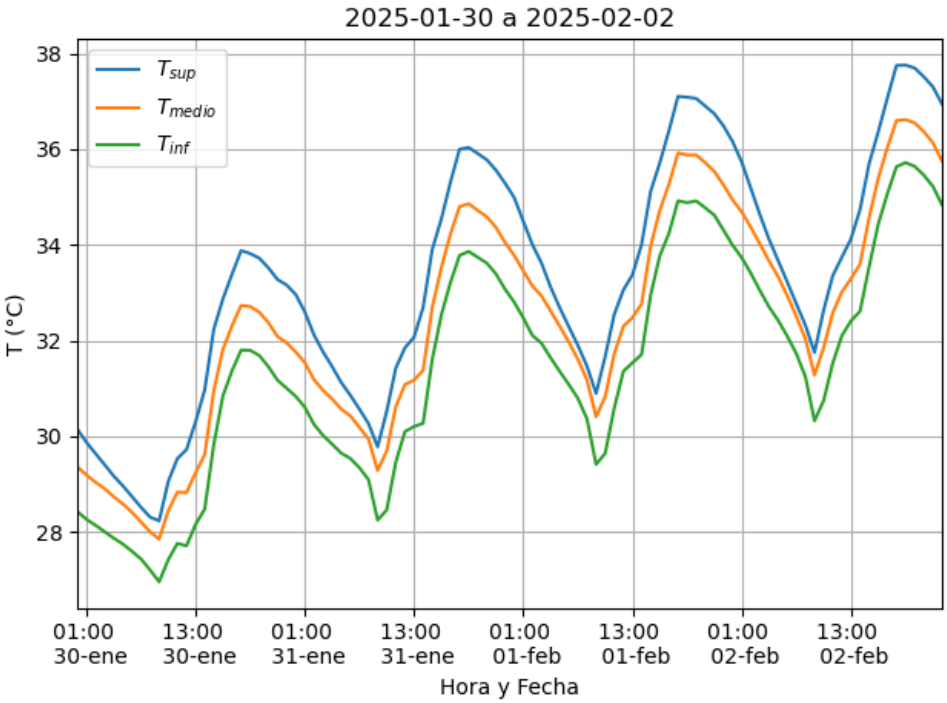


Figura 3: Evolución temporal de los valores de temperatura registrados en el interior del tanque con agua, medidos en tres alturas distintas a lo largo del eje central; periodo 30-01 al 02-02 del 2025

La Fig. 4 presenta la comparación entre la temperatura media medida del agua, la estimada por el modelo y la temperatura ambiente, para el mes de enero. En general, los resultados simulados reproducen adecuadamente la tendencia y amplitud de los datos experimentales. Sin embargo, al analizar en detalle, se observa que en los días de menor amplitud térmica las simulaciones se alejan de los datos medidos (ya sea por encima o por debajo), mientras que en los días con mayor amplitud térmica los datos simulados logran una mejor coincidencia en los valores máximos.

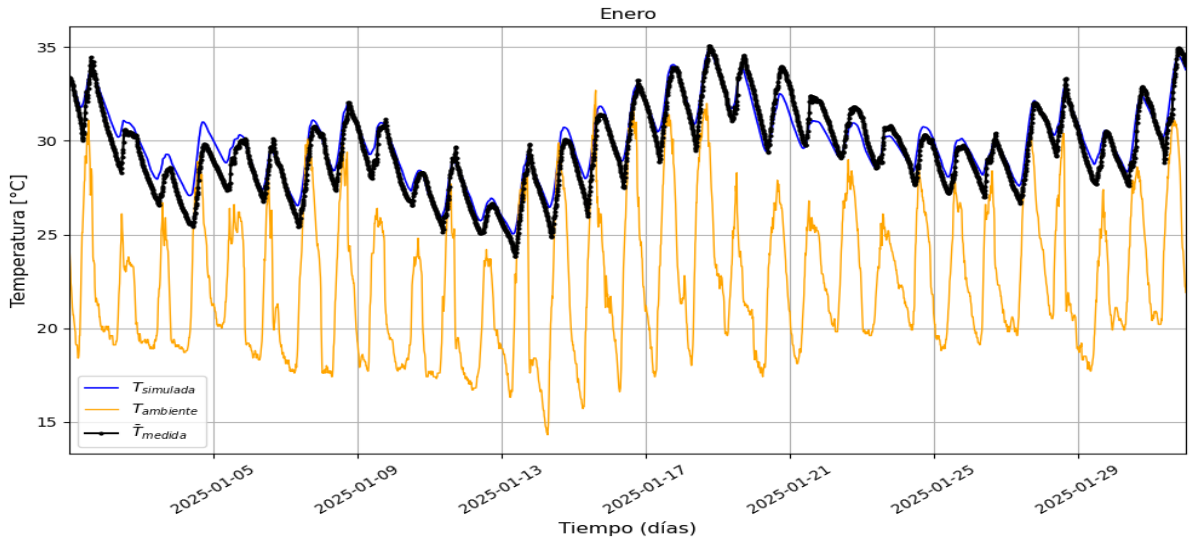


Figura 4: Evolución temporal de la temperatura media global del agua en el tanque, comparada con la temperatura estimada por el modelo y la temperatura ambiente, para el mes de enero

Durante la noche, la temperatura simulada no logra alcanzar los mínimos medidos, como se aprecia en la Fig. 5 para los días 17 y 18 de enero, a modo de ejemplo. A pesar de haber considerado las pérdidas por la radiación nocturna, la temperatura simulada se mantiene por arriba de la temperatura medida y la

diferencia se mantiene hasta las primeras horas de la mañana. Esto puede deberse a que el modelo no considera los efectos de la estratificación en el agua durante el enfriamiento nocturno, donde las capas superiores disminuyen mucho más la temperatura.

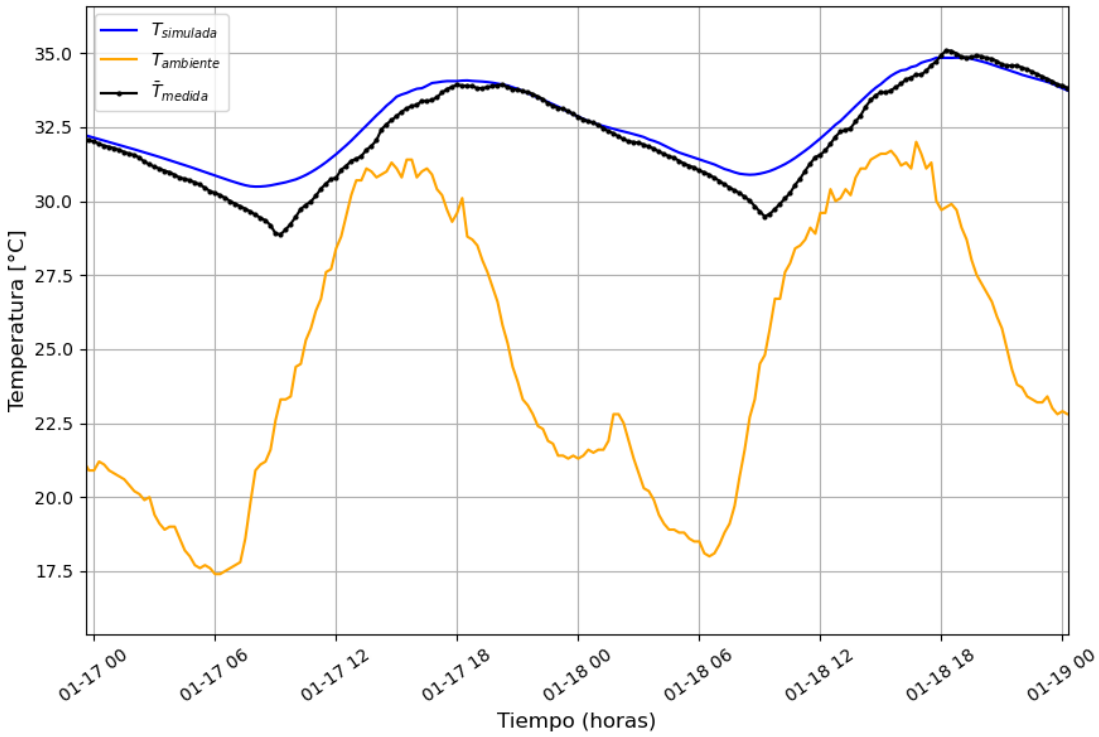


Figura 5: Evolución temporal de la temperatura media global del agua en el tanque, comparada con la temperatura estimada por el modelo y la temperatura ambiente, en los días 18 y 19 de enero

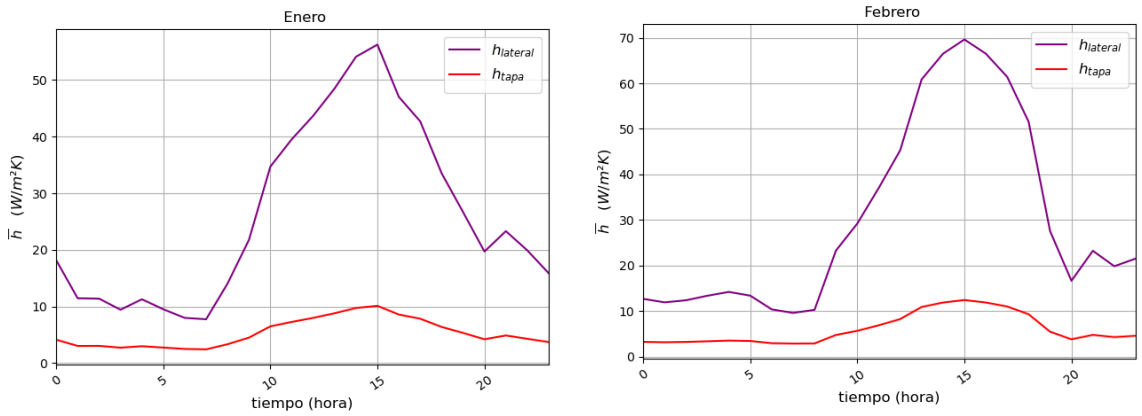
La Tabla 1 presenta los errores cuadráticos medios (RMSE) y los errores absolutos medios (MAE) para cada mes. Los meses de enero y febrero tienen valores similares, mientras que en marzo y abril los errores aumentan, pero se mantiene en un rango aceptable.

Tabla 1: RMSE y MAE para cada mes

Mes	RMSE (ºC)	MAE (ºC)
Enero	0.73	0.60
Febrero	0.73	0.57
Marzo	1.07	0.86
Abril	1.24	1.18

Coeficientes convectivos de las superficies externas estimados

El modelo permitió estimar la evolución temporal de los coeficientes de convección para las superficies externas del tanque. Las Fig. 6 muestran los valores de los coeficientes de convección horario medio mensual obtenidos para la pared lateral del tanque y la tapa.



(a) *(b)*

Figura 6: Variación temporal de los coeficientes de convección externos estimados para la pared lateral y la tapa del tanque, correspondiente a un día representativo del mes, (a) enero, (b) febrero

Los resultados muestran un aumento durante las horas diurnas, alcanzando los valores máximos aproximadamente a las 15 horas, con rangos de 5-12 W/m^{2}K para la pared lateral y 10-70 W/m^{2}K para la tapa. Durante la noche los coeficientes disminuyen significativamente.

Los valores máximos estimados concuerdan con los reportados en la literatura para recipientes cilíndricos expuestos a condiciones ambientales similares, que varían entre 10-1110-11 W/m^{2}K (Cotter,1993 ; Oliveski, 2003). Para el caso de la tapa, no se encontraron referencias en la literatura.

CONCLUSIONES

El código desarrollado permite evaluar el comportamiento térmico de un tanque cilíndrico de almacenamiento de agua expuesto a condiciones ambientales reales. Las temperaturas estimadas mediante el modelo unidimensional fueron contrastadas con mediciones experimentales de temperatura del agua, mostrando en general una buena concordancia.

Los resultados demuestran que el modelo unidimensional constituye una herramienta adecuada para predecir la temperatura media del fluido. Aunque, se observan discrepancias durante los periodos nocturnos, donde las estimaciones no alcanzan los mínimos de temperatura registrados. En cambio, reproduce mejor los máximos de temperatura. El error cuadrático medio (RMSE) obtenido para los meses analizados fue menor a 1,24 ºC, confirmando una buena aproximación unidimensional para la estimación de la temperatura media del fluido.

Además, el modelo permitió estimar los coeficientes de convección para las superficies externas, obteniendo valores consistentes para la pared lateral, reportados en la literatura.

Como trabajo a futuro se propone mejorar la caracterización de la capa de aire superior en el tanque, lo que permitiría una mejor representación de los mecanismos de transferencia de calor, y extender la validación a distintas condiciones ambientales y geometrías del tanque.

REFERENCIAS

Bejan, A. y Kraus, A. D. (Eds.). (2003). *Heat Transfer Handbook* (Vol. 1). John Wiley & Sons.

Busano, H. y Frigerio, P. (2007). *Análisis de la emisividad del cielo para la región de Salta*. Revista de Energías Renovables, 15(3), 45-52.

Cotter, M. A. y Charles, M. E. (1993). Transient cooling of petroleum by natural convection in cylindrical storage tanks-I. Development and testing of a numerical simulator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 36(8), 2165-2174.

De Césaro Oliveski, R., Krenzinger, A. y Vielmo, H. A. (2003). Comparison between models for the simulation of hot water storage tanks. *Solar Energy*, 75(2), 121-134. https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.009

Duffie, J. A. y Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes* (2ª ed.). Wiley Interscience.

Ievers, S. y Lin, W. (2009). Numerical simulation of three-dimensional flow dynamics in a hot water storage tank. *Applied Energy*, 86(12), 2604-2614. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.010

Incropera, F. P. y DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (4ª ed.). Prentice Hall.

Mavros, P., Belessiotis, V. y Haralambopoulos, D. (1994). Stratified energy storage vessels: Characterization of performance and modeling of mixing behavior. *Solar Energy*, 52(4), 327-336.

Laboratorio de Edificios Bioclimáticos. (2017). Archivos climáticos. Universidad Nacional de Salta. Recuperado de https://leb.inenco.unsa.edu.ar/index.php/es/2017/10/31/archivos-climaticos/ el 19 de septiembre de 2025.

ONE-DIMENSIONAL MODEL FOR THE SIMULATION OF THE MEAN FLUID TEMPERATURE IN STORAGE TANKS

ABSTRACT: In this work, a one-dimensional model based on the concept of thermal networks is presented for estimating the average temperature of fluids contained in storage tanks exposed to variable environmental conditions. The analysis is based on the tank-water system installed on the campus of the Institute of Non-Conventional Energy (INENCO) at the National University of Salta (UNSa), where fluid temperature data were recorded. Environmental data were obtained from the records of the Bioclimatic Buildings Laboratory, which belongs to INENCO. The model considers heat transfer mechanisms including conduction through the tank walls, internal fluid convection, natural and forced convection from the external surfaces to the surrounding environment, external radiative effects, and conduction to or from the ground through an additional thermal resistance. Simulation results show a good approximation to the measured data, with minor differences. The temporal variation of external convection coefficients for the tank's lateral wall and lid is also presented. This study provides a simple tool for thermal analysis of fluid storage systems.

Keywords: one-dimensional thermal model, simulation, cylindrical tank.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 65-76 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

MEJORA TECNOLÓGICA DE UN DESTILADOR SOLAR DE BATEA CON RESISTENCIA ELÉCTRICA CONTROLADA

Carlos Fernández[1,2], Emilce López[1], Gonzalo Ortíz[1,2], Alejandro Hernández[1,2]
[1]Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
[2]Departamento de Física. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150 – Salta
Tel. 0387-4255424 – Fax 0387-4255489, e-mail: emigemy@yahoo.com.ar

RESUMEN: En este trabajo se presenta la descripción y evaluación experimental de una mejora tecnológica que permite triplicar la producción diaria de agua destilada con destiladores solares de batea, mediante la inclusión de una resistencia eléctrica de 2 kW, para el funcionamiento del equipo durante las noches y en días nublados. Con esta mejora se obtienen 24 l diarios de agua destilada con una conductividad eléctrica de sólo 12 µS/cm a un costo de $73/l, valores altamente competitivos en el mercado del agua destilada local. Con los datos recogidos durante 4 meses del año 2025 se obtuvo una correlación que permite calcular el consumo eléctrico del equipo en base a la cantidad de litros de agua destilada que debe producirse por día. Esta ecuación es una importante herramienta de dimensionamiento tanto para instalaciones domiciliarias como para futuras plantas de tratamiento de aguas duras en municipios donde las condiciones del agua natural no son aptas para el consumo humano. Las potencialidades de esta mejora tecnológica radican en su bajo costo, sencillez de instalación y mantenimiento, y en la posibilidad de brindar agua segura a pobladores rurales, campamentos mineros y parajes que cuenten con acceso a la red eléctrica.

Palabras clave: Destilación solar, calentamiento eléctrico, zonas rurales, purificación de agua.

INTRODUCCIÓN

La problemática del agua salada en algunas zonas de nuestro país, es decir, la presencia de agua con niveles de salinidad superiores a los deseables para el consumo humano y otros usos, impulsa la búsqueda y desarrollo de tecnologías de desalinización y tratamientos de purificación del agua.

En muchas zonas rurales, caracterizadas por condiciones climáticas extremas y una disponibilidad de agua limitada o de baja calidad, como el Chaco salteño, el acceso a agua dulce representa un desafío constante. La estacionalidad de períodos de sequía intensos y la presencia de agua con concentraciones elevadas de sulfatos y arsénico, especialmente en la cuenca del río Juramento (Auge et al, 2006), dificultan la satisfacción de las necesidades básicas de las comunidades locales. El agua dulce es clave para el desarrollo de estas comunidades además de ser fundamental para garantizar una calidad de vida digna.

Mejorar la calidad del agua en estas zonas remotas con salinidad elevada es un gran desafío en el que las nuevas tecnologías juegan un papel crucial. La mayoría de los métodos de purificación de agua se basan en la utilización de energías convencionales, como la electricidad, la que no siempre está disponible en zonas rurales aisladas. Por ello, el desarrollo de equipos para tratamientos de agua con energías alternativas como la solar o eólica adquiere relevancia.

La destilación solar transforma diversas fuentes de agua, incluyendo líquidos salinos, sin procesar, contaminados o semisalados, en agua destilada mediante el aprovechamiento de la energía solar, que es

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

económica y evita el uso de otros combustibles. Este método de purificación consta básicamente de dos etapas: evaporación y condensación, que eliminan eficazmente sustancias indeseables como minerales y microorganismos, dando como resultado un agua limpia. Las tecnologías de desalinización solar imitan el ciclo hidrológico, el destilador funciona como una trampa de calor, ya que el techo es transparente a la luz solar incidente, pero opaco a la radiación infrarroja emitida por el agua caliente. El techo hermetiza el equipo, e impide que se escape el vapor y que el viento enfríe el agua salada. (Esteban et. al. 2000).

La principal desventaja que tienen los destiladores solares es la baja producción de agua destilada. En el chaco salteño, bajo condiciones óptimas de radiación, produce 3 l/m^2 día en invierno y 7 l/m^2 día en verano (Franco et al., 1997), insuficiente para atender grandes necesidades de consumo. Además, la producción de agua se limita a las horas de sol; ya que no produce por la noche o en días nublados.

La mejora tecnológica que presentamos en este trabajo consiste en incorporar una resistencia eléctrica controlada con termostato para obtener una operación eficiente durante la noche o en días de baja radiación. De esta manera, se garantiza el funcionamiento constante del equipo independientemente de la intensidad de la radiación, aumentando significativamente la producción de agua limpia.

Estado de arte de la Desalinización Solar

La desalinización solar es una tecnología factible para la obtención de agua en lugares remotos, sin embargo, el interés de utilizar la energía del sol para la obtención de agua no es nuevo. En el siglo IV a.C., Aristóteles describe un método para evaporar agua contaminada y obtener un condensado utilizando la radiación solar. En el siglo XVI, los alquimistas árabes fueron los primeros en utilizar la destilación solar y en 1892, en Las Salinas, Chile, Charles Wilson construyó la primera planta, con una capacidad de 20.000 l/día, con el fin de abastecer al ganado y explotar la minería; hacia el año 1940 seguía funcionando (Arjunan et al., 2009).

En la década de 1950, el interés por esta tecnología despertó con el objetivo de desarrollar plantas de gran capacidad, como en California donde se pretendía producir 3.775 m^3 al día. No obstante, después de diez años de investigación en todo el mundo, se llegó a la conclusión de que las implementaciones de desalinización solar a gran escala serían muy caras y no podrían competir con los combustibles fósiles. Por tal motivo, el enfoque se cambió a instalaciones de menor escala; entre 1960 y 1970 se construyeron 38 plantas en 14 países, con capacidad de 30.000 litros por día, hoy dos terceras partes siguen en funcionamiento, las demás fracasaron por el mal diseño en los materiales de construcción (Arjunan et al., 2009).

En el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), se comenzó a trabajar en este tema en el año 1985. La decisión de desarrollar desalinizadores solares se orientó en un principio a eliminar el arsénico del agua. Desde 1992, se realizó la adaptación de materiales de disponibilidad local al diseño de destiladores solares clásicos (tipo invernadero), con vistas a su instalación en zonas del Chaco salteño caracterizado por agua con concentraciones salinas elevadas. Numerosos estudios y reportes hidrogeológicos y ambientales validan la existencia de acuíferos con elevada salinidad en el Cha-co salteño (en muchos casos con exceso de Na u otros parámetros), lo que limita el uso del agua subte-rránea para consumo humano sin tratamiento (Franco et al. (1993); Auge et al. 2006; Boujon et al. 2019).

Las tecnologías de desalinización basadas en las energías renovables como la energía solar son una alternativa para combatir los problemas de escasez de agua potable y de contaminación, pero, la baja producción de este tipo de equipos hace que esta tecnología simple y duradera no sea una solución eficaz para el problema de abastecimiento de agua. Mientras la naturaleza intermitente de la luz solar y su intensidad variable durante el día desafía al proceso de desalinización en días nublados o por la noche, varias opciones de almacenamiento de energía pueden ser usadas para permitir una operación de 24 horas; las baterías pueden almacenar energía solar para su uso durante la noche. Sin embargo, los costos de las baterías son muy altos y la inversión necesaria trunca la implementación de una innovación de este tipo.

En los últimos años, los esfuerzos de investigación se han concentrado en mejorar la eficiencia y productividad de los destiladores solares mediante la integración de calentadores eléctricos, módulos fotovoltaicos, técnicas de enfriamiento o combinaciones innovadoras. Diversos estudios han mostrado que el uso de resistencias o calentadores eléctricos alimentados con energía solar puede incrementar significativamente la producción de agua destilada, al mantener temperaturas de evaporación más elevadas incluso en condiciones de baja radiación solar. (AL-Garni, 2014; Dawood et al. 2022; Mahboob et al. 2022). Asimismo, la incorporación de módulos fotovoltaicos que alimentan calentadores de inmersión ha permitido alcanzar rendimientos energéticos y exergéticos superiores, con reducciones notables en el costo por litro de agua producida (Prasad et al. 2022). Otras investigaciones han explorado combinaciones innovadoras como la vibración mecánica de la base y el enfriamiento termoeléctrico de la cubierta, logrando aumentos de hasta seis veces en la productividad en comparación con los sistemas convencionales (Dawood et al., 2022). Estas estrategias confirman que la desalinización solar, tradicionalmente limitada por su baja producción, puede transformarse en una alternativa más competitiva y sostenible frente a métodos convencionales, siempre que se logre balancear la inversión inicial con los beneficios de operación a largo plazo.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental utilizado en este trabajo es el prototipo de destilador solar desarrollado por Franco et al. (1997), esquematizado en la Figura 1, sobre el cual se aplicaron las modificaciones descriptas en el siguiente apartado. Está compuesto por una batea rectangular de madera de 1 m de ancho por 2 m de largo y 10 cm de profundidad, sostenido por cuatro patas de madera dura. La batea está impermeabilizada con una lona negra de PVC que es la superficie que está en contacto directo con el agua a tratar. La cantidad de agua contenida en la batea es de 80 l.
La cúpula está formada por un bastidor rectangular compuesto por dos canaletas laterales de acero inoxidable, unidas en sus extremos por dos chapas triangulares del mismo material y aisladas con poliestireno expandido. Estas chapas actúan como soporte para los cuatro vidrios que conforman la cubierta superior, formando una estructura sólida y removible. (Franco et al. 1997)

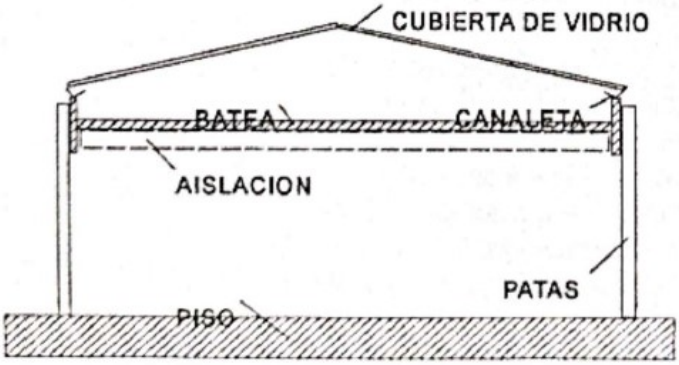


Figura 1: Corte esquemático del destilador solar de batea. (Fuente: Franco et al., 1997)

Componentes tecnológicos incorporados

Se ha incorporado al sistema una resistencia eléctrica de 2 kW con termostato y sensor de temperatura incluido (Figura 2), ya que es un componente ampliamente disponible en el mercado, fiable y comúnmente utilizado en calefones solares o termotanques eléctricos domiciliarios. Esta resistencia se instala en el centro geométrico de la batea, a una altura de 2 cm desde el fondo, para complementar el calentamiento solar, activándose automáticamente cuando la temperatura desciende por debajo de un umbral predeterminado, permitiendo mantener las condiciones óptimas de operación del equipo en todo momento. La ubicación de la resistencia genera celdas convectivas que transportan calor y masa desde el centro a los costados de la batea, tendiendo a uniformizar la temperatura del agua en todas direcciones. Esto fue comprobado mediante la ubicación de sensores de temperatura en los cuadrantes noroeste y sudeste y en el centro de la batea (en la resistencia eléctrica). La reposición del agua se realiza de manera automática mediante un tanque de prellenado con flotante. El agua de reposición puede provenir de la red o de un tanque de almacenamiento.

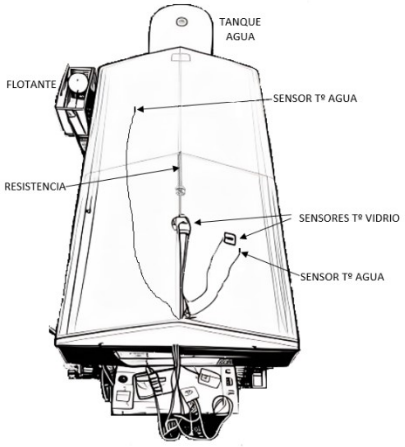


Figura 2: Vista en planta del destilador solar de batea mejorado

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la evaluación del sistema se utilizaron instrumentos de medición que permitieron monitorear en detalle las condiciones de prueba. Se empleó una estación meteorológica Davis Vantage Pro2, equipada con sensores para registrar radiación solar, temperatura ambiente, humedad relativa y dirección del viento. Además, se utilizó un datalogger HOBO de 4 canales, con sensores de temperatura distribuidos en distintos puntos del sistema, 2 en el agua de la batea y 2 en el vidrio de la cubierta transparente con pendiente al Este (el otro tiene pendiente al Oeste), ya que el destilador se instaló con su eje longitudinal en la dirección Norte - Sur (Figura 3).

Las pruebas se llevaron a cabo en el Campo Experimental del INENCO en la Universidad Nacional de Salta (24° 43' 44,66" de latitud Sur; 65° 24' 34,35" de longitud Oeste; 1.230 m.s.n.m.), bajo condiciones climáticas variables, incluyendo días soleados y nublados, durante las estaciones de verano, otoño e invierno. Se tomaron mediciones tanto en horario diurno, cuando el sistema operaba en modo dual con energía solar y eléctrica, como en horario nocturno, cuando el funcionamiento dependía exclusivamente de la energía eléctrica.

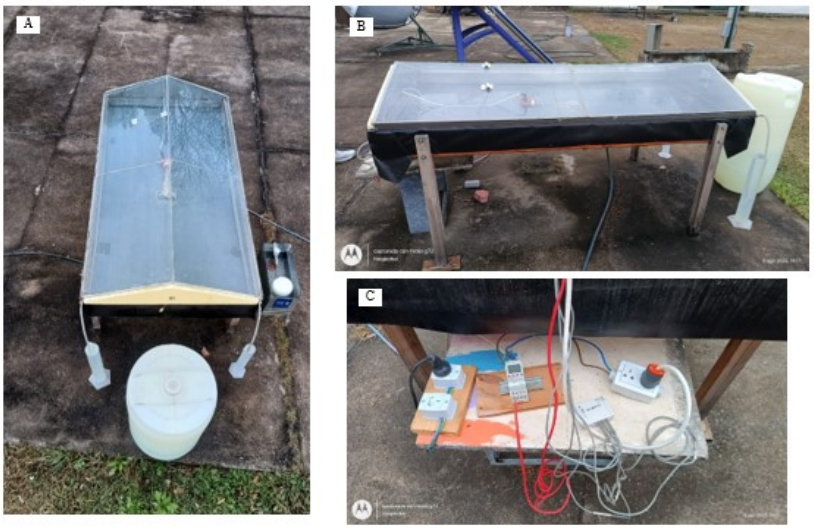


Figura 3: Fotografías del prototipo mejorado en el campo experimental del INENCO. A.- Vista en planta. B.- Vista lateral. C.- Equipo de medición.

Los parámetros monitoreados durante las pruebas incluyeron:

- Producción diaria de agua destilada
- Temperatura del agua en la batea en 3 posiciones: centro y cuadrantes noroeste y sudeste, Fig.2 (°C).
- Temperatura del vidrio con pendiente al este (en su cara interior) (°C). Ver Figura 2.
- Temperatura ambiente (°C)
- Radiación solar
- Velocidad y dirección del viento

La uniformización de la temperatura del agua de la batea fue evaluada mediante los tres sensores instalados en ella. La comparación de sus lecturas arrojó diferencias del orden de 1 °C con lo cual los gradientes térmicos se consideran despreciables.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan resultados obtenidos al evaluar el destilador solar de batea con resistencia calefactora entre los meses de marzo y agosto de 2025. Durante los períodos diurnos de días soleados el agua de la batea es calentada principalmente por la energía proveniente del sol mientras que por las noches la resistencia eléctrica la mantiene a una temperatura fijada mediante un termostato. Cuando el destilador entra en régimen, el hecho de que la resistencia eléctrica mantenga durante la noche la temperatura de la batea en un valor fijo superior al de la temperatura ambiente, permite aumentar la tasa de destilado durante el período diurno (cuando se apaga la resistencia) al arrancar el calentamiento solar desde la temperatura de termostatización y no de la que tendría el agua si se hubiera enfriado durante toda la noche.

El rango de temperaturas utilizado en los ensayos fue de 45 a 65 °C, fijándose un valor único a lo largo de cada ensayo. De esta forma, cuando la temperatura del agua de la batea disminuye por debajo de este valor, la resistencia calefactora encendía y cuando la temperatura sobrepasaba dicho valor se apagaba. Así, la oscilación de la temperatura del agua de la batea fue de sólo 1°C. Por otra parte, se verificó que la temperatura del vidrio con pendiente al Este es levemente inferior a la del otro vidrio, lo cual puede deberse a que la dirección preponderante del viento en el sitio es del Este. El enfriamiento de la cubierta del Este por debajo de la del Oeste se manifiesta en una mayor producción de destilado en el vidrio con pendiente al Este, según se observa en la Figura 4 que corresponde a horas diurnas del día 27/07/25.

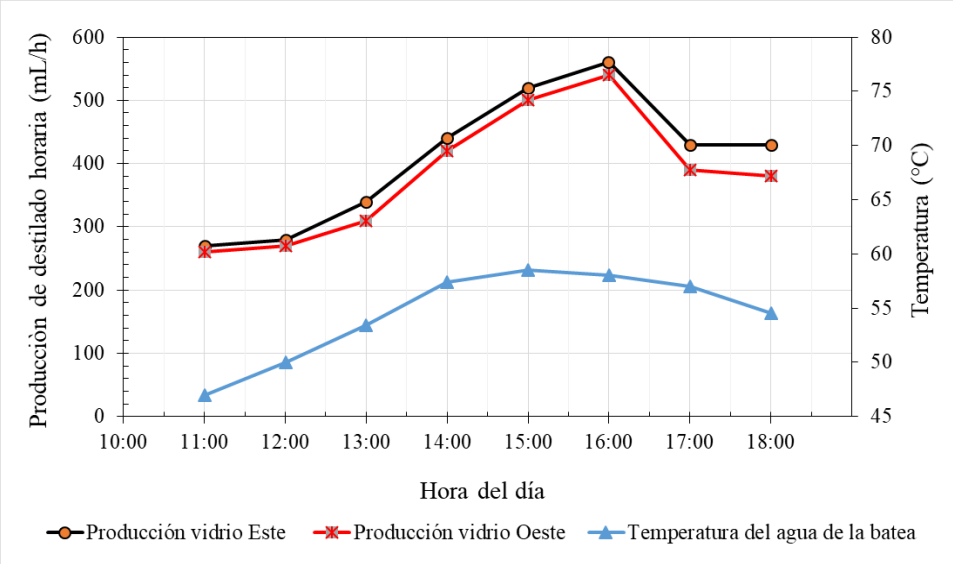


Figura 4: Producciones horarias de destilado de ambos vidrios y temperatura del agua de la batea durante las horas diurnas del día 27/07/25. Temperatura del termostato en la noche anterior: 45 °C.

Cuando la radiación solar calentó el agua de la batea por encima de los 45 °C el termostato desconectó la resistencia. A partir de entonces y, como era de esperar, la temperatura del agua de la batea siguió la variación de la radiación solar y de la temperatura ambiente, alcanzando un valor máximo de 58,5 °C a las 15 h. Las tasas máximas de destilado en este día fueron del orden de 550 mL/h en cada cubierta.

Durante este período el vidrio con pendiente al Este produjo 6,5 % más de agua destilada que el vidrio con pendiente al Oeste. Esta situación se repitió sistemáticamente en todos los ensayos realizados. La producción total de agua destilada durante las 8 h graficadas fue de 6,34 l.

Temperatura de termostatización óptima

A fin de determinar las condiciones óptimas de operación de la resistencia eléctrica, se realizaron ensayos a distintas temperaturas de termostatización nocturna. En la Figura 5 se grafican los valores de las tasas de destilación horarias tanto diurnas como nocturnas en función de la temperatura del termostato.

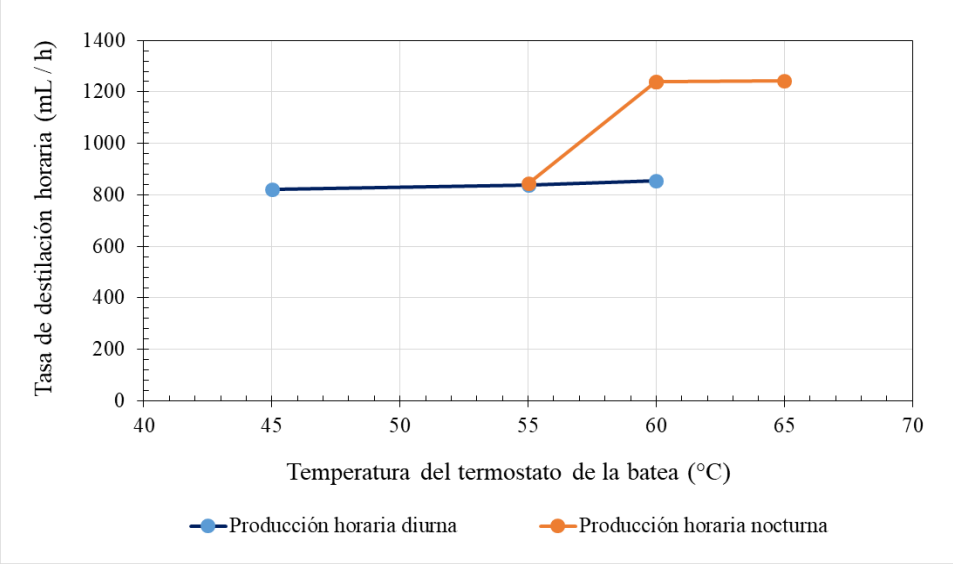


Figura 5: Tasas de destilación horaria diurnas y nocturnas en función del valor del termostato.

Según se observa en la figura, la tasa de destilación horaria aumenta al aumentar la temperatura del agua. En los ensayos diurnos, la temperatura de termostatización en la noche anterior varió de 45 a 60 °C, mientras que en los ensayos solamente nocturnos esta temperatura varió entre 55 °C y 65 °C. Durante el período diurno, la tasa no depende fuertemente de la postura del termostato ya que durante este tiempo la resistencia se encuentra mayormente apagada en los días soleados. La mejora en la tasa de destilación horaria diurna fue de sólo un 4,4 % al pasar la temperatura de termostatización de 45 a 60 °C en la noche anterior. En cambio, la tasa de destilación nocturna presentó un aumento del 47 % al pasar de 55 a 60 °C la temperatura del termostato. La diferencia entre las tasas de producción de destilado nocturnas a 60 y 65 °C es despreciable según los datos experimentales. En base a estos resultados, establecimos que la temperatura de termostatización óptima es 60 °C a fin de maximizar la vida útil de la lona de PVC que impermeabiliza la batea la cual comienza a deteriorarse, por temperatura, a partir de los 70 °C. Dado que no se obtienen mejoras en la producción de destilado a temperaturas de termostatización superiores a 60 °C no conviene superar este valor ya que, además, se limita el consumo eléctrico nocturno.

Tasas de destilación horaria diurna y nocturna

En la siguiente figura se comparan las tasas promedio de destilación horaria diurnas con las nocturnas a una temperatura de termostatización de la batea de 60 °C. Las tasas promedio se obtuvieron dividiendo la cantidad total de agua destilada por la cantidad de horas en la que se obtuvo tal cantidad de destilado, tanto de día como de noche.

Se observa en la Figura 6 que las tasas de destilación horaria diurnas son del orden del 65 % de las nocturnas. Esto se debe a que, durante las horas de sol, la temperatura del agua de la batea evoluciona siguiendo a la radiación solar por lo que la producción de destilado no es constante, siendo menores sus valores a primera y última horas del período fotópico. Esto sucede independientemente de la temperatura de termostatización empleada en la noche anterior según se observa en la Figura 4.

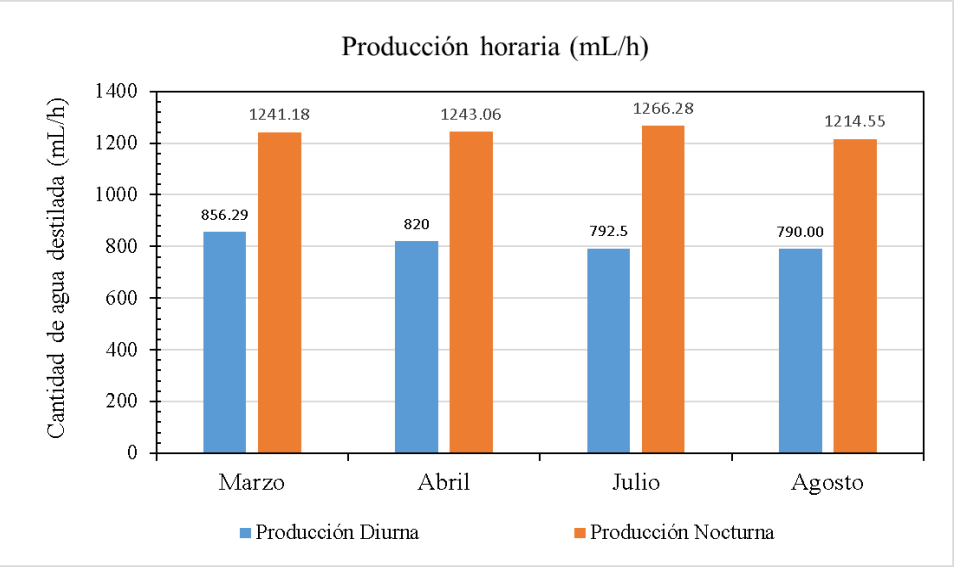


Figura 6: Comparación de las tasas promedio horarias de destilación diurna y nocturna en 4 meses del año. Termostatización de la batea a 60 °C.

Las tasas promedio horarias de destilado en el período diurno son del orden de 800 ml/h ya que la temperatura ambiente es la más elevada del día y, en consecuencia, la temperatura de los vidrios es muy alta para condensar el vapor. En cambio, por la noche, la resistencia eléctrica mantiene la temperatura del agua de la batea en un valor cuasi constante alrededor de 60 °C mientras que la temperatura ambiente desciende hasta alcanzar su valor mínimo diario, potenciando así la condensación del vapor en los vidrios. De esta forma, la cantidad de agua producida durante cada hora de la noche (período más largo que el fotópico) es superior a 1,2 l/h.

Comparación de producciones diarias entre un equipo sólo solar y otro híbrido solar-eléctrico

El destilador solar mejorado presenta un avance tecnológico significativo que se traduce en un aumento en la producción diaria de agua destilada. Comparado con los destiladores solares pasivos tipo batea presentados por Franco et al. (1997) cuyas producciones oscilan entre 3 litros/m²·día en invierno y 4 litros/m²día en verano, la incorporación de la resistencia eléctrica controlada aporta un incremento mayor y sostenido en la producción diaria.

Esta mejora se debe a la capacidad de la resistencia para elevar la temperatura del agua en la batea incluso en condiciones de baja radiación solar o durante la noche. En esas situaciones, el sistema mejorado asegura un aporte eléctrico que maximiza la producción en horas sin luz solar, garantizando un suministro continuo.

A fin de analizar la mejora introducida en la producción diaria de agua destilada mediante la incorporación de la resistencia calefactora, se comparan gráficamente en la Figura 7 los valores diarios de las producciones obtenidas en un destilador de batea convencional trabajando sólo durante las horas de sol con las producidas por el mismo destilador con la resistencia calefactora, destilando agua tanto de día como de noche.

Se observa en esta Figura que la producción diaria Solar + Eléctrica supera a la Sólo Solar en un 220 %, superando los 25 l diarios de agua destilada en los meses analizados. Por su parte, el destilador Sólo Solar produce unos 8 l diarios de agua destilada, valor que coincide con lo reportado en la bibliografía consultada (4 l/m^2). La importante mejora lograda en la producción diaria de agua destilada con el equipo híbrido Solar + Eléctrico debe ser analizada a la luz de los consumos energéticos registrados en los ensayos realizados.

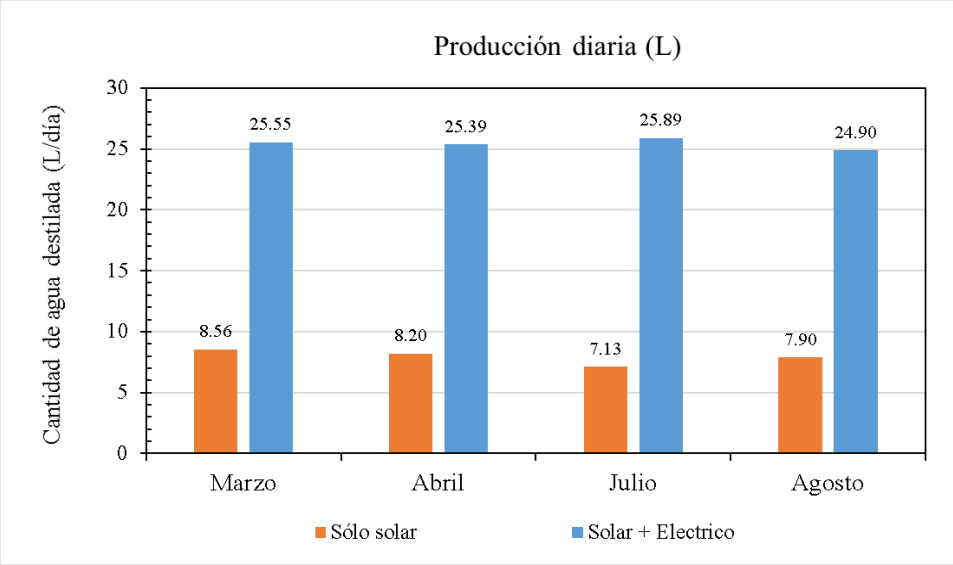
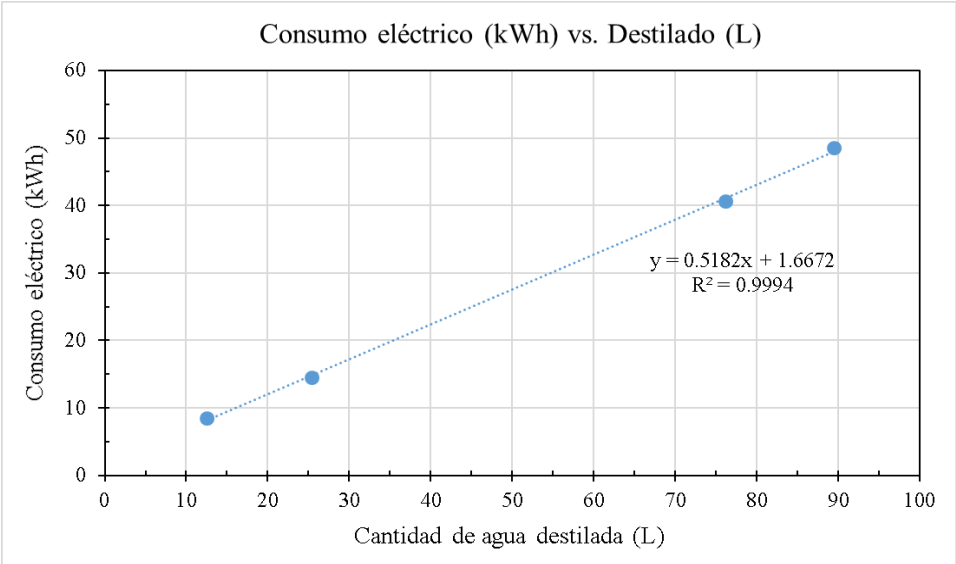


Figura 7: Comparación de las producciones diarias de agua destilada sólo con energía solar diurna y con la combinación Solar + Eléctrica.

Consumo eléctrico de la resistencia con el termostatizador a 60 °C

En la Figura 8 se presenta la dependencia del consumo eléctrico de la resistencia en kWh con la cantidad de agua destilada en litros para una temperatura de termostatización de 60 °C. Los valores graficados corresponden a consumos medidos durante una sola noche (12,5 l), durante un día (25,3 l) y durante varios días consecutivos, incluyendo días nublados (76,2 l) y soleados (89,5 l) y se aplicó un ajuste lineal por cuadrados mínimos.

Figura 8:



Dependencia del consumo eléctrico de la resistencia con la cantidad de agua destilada.

De acuerdo a la pendiente de la recta de ajuste por cuadrados mínimos, se requieren 0,52 kWh para producir 1 l de agua destilada con este equipo. Para producir los 25 litros diarios de la Figura 8 se deben consumir 14,6 kWh eléctricos. Si bien este consumo diario es importante, la producción de destilado

adicional justifica plenamente el consumo eléctrico asociado al funcionamiento de la resistencia, en particular si se considera la viabilidad económica frente a otras alternativas limitadas en zonas rurales. La curva de ajuste obtenida por cuadrados mínimos permite determinar el consumo eléctrico necesario para cubrir una determinada cantidad de agua destilada ya sea para un servicio unifamiliar o para todo un poblado rural o establecimiento minero en la Puna y otras zonas de montaña.

Esta innovación tecnológica representa una solución viable y eficaz para la potabilización de agua en zonas con acceso a electricidad, superando los rendimientos de los destiladores solares tradicionales.

Análisis económico

El análisis económico del equipo mejorado se realizó considerando dos escenarios complementarios: funcionamiento nocturno exclusivamente eléctrico y operación diaria combinada (solar + eléctrico).

- Funcionamiento nocturno

Durante una prueba de 12 horas de funcionamiento continuo (20:00 a 8:00), el equipo consumió 14 kWh produciendo 10 l de agua destilada, en otras palabras, el consumo fue de 1,4 kWh/l. Con una tarifa eléctrica promedio de 125 $/kWh en Salta, el costo energético en estas condiciones asciende a $175 por litro, mientras que el precio de referencia del agua destilada comercial es de $1.000 por litro. Estos simples cálculos nos permiten ver que el ahorro frente al producto comercial (en operación nocturna, un escenario menos favorable) es de un 82,5% o, dicho de otra forma, el equipo mejorado produce agua destilada aproximadamente 5,7 veces más barata que la alternativa comercial.

- Producción diaria integrada (solar + eléctrico)

En condiciones óptimas de radiación, la producción diaria del equipo alcanza 24,8 l de agua destilada. Considerando que durante el día se utiliza energía solar directa y durante la noche un aporte eléctrico controlado, el costo energético promedio se reduce a aproximadamente $73 por litro, lo que representa una reducción del costo frente a la opción comercial de aproximadamente 13,7 veces. Este resultado se respalda además mediante la ecuación de ajuste por cuadrados mínimos de la Figura 8.

El análisis nocturno se presenta como escenario de referencia para cuantificar el costo de operación exclusivamente con energía eléctrica, mostrando que incluso en condiciones desfavorables, el costo es menor al comercial. Sin embargo, la integración de energía solar directa con la resistencia eléctrica controlada refleja la condición real de uso del equipo, donde el costo por litro se reduce de manera sustancial.

Mejora en la calidad físico-química del agua

Como se mencionó anteriormente, el destilador solar mejorado produce, en condiciones óptimas, 24 l/día de agua destilada, con una conductividad eléctrica (CE) de 12 µS/cm. Si analizamos la CE del agua del grifo en la ciudad de Salta resulta de 238 µS/cm (apta para consumo) y si la comparamos con valores medidos en zonas rurales del Chaco salteño[1]: Los Blancos – Municipio Rivadavia Banda Sur CE: 6.840 µS/cm y Santa Victoria Este CE: 8.160 µS/cm vemos que es significativamente menor.

Considerando el capítulo XII del Código Alimentario Argentino (2012), donde establece niveles guía para agua de consumo humano (1.500 mg/l de Sólidos disueltos totales, equivalente aproximadamente a 2.000 µS/cm de CE), se evaluó la proporción de mezcla entre agua destilada (producida por el equipo) y el agua local para obtener un valor cercano a este umbral.

Los cálculos que se presentan son proporciones prácticas redondeadas que sirven para su uso en campo.

Los Blancos = 6.840 µS/cm
Objetivo de calidad físico-química: ~2.000 µS/cm
Fracción de agua disponible:

$$\frac{2.000}{6.840} \approx 0{,}292$$

[1] Rodríguez – Álvarez M. S. INENCO – CONICET, comunicación personal.

Fracción de agua destilada:

$$1 - 0{,}292 \approx 0{,}708$$

Para un litro de mezcla se necesitan 292 ml de agua local y 708 ml de agua destilada. Es decir que para la localidad de Los Blancos un equipo de desalinización solar mejorado que produce 24 l por día posibilita la preparación de 33,9 l de agua mezclada como máximo con una CE de 2.000 µS/cm.

Si realizamos el mismo análisis para el agua de Santa Victoria Este obtenemos los siguientes resultados:

Santa Victoria Este = 8.160 µS/cm
Fracción de agua disponible:

$$\frac{2.000}{8.160} \approx 0{,}245$$

Fracción de agua destilada:

$$1 - 0{,}245 \approx 0{,}755$$

En este caso se requieren 245 ml del agua fuente y 755 ml de agua destilada para obtener un litro de mezcla. Por lo tanto, el máximo diario de agua que podríamos producir en condiciones óptimas en esta zona es de 31,8 l.

Estos resultados muestran que la dilución con agua destilada producida por el equipo solar permite mejorar los parámetros físico químicos (conductividad/TDS) hasta niveles compatibles con los establecidos por el Código Alimentario Argentino. Sin embargo, esta mejora solo se refiere a la calidad físico-química y no implica que el agua resultante sea segura para el consumo humano, ya que podrían persistir contaminantes microbiológicos u otras sustancias nocivas.

Para asegurar la potabilidad, es indispensable aplicar un tratamiento complementario posterior a la dilución, como hervir el agua, adicionar cloro en dosis seguras o emplear el método SODIS (desinfección solar), a fin de inactivar patógenos y garantizar su inocuidad.

Futuras mejoras técnicas posibles

Se identificaron posibles mejoras técnicas que pueden disminuir el costo de producción y aumentar la vida útil del equipo:

- Mejoras en la construcción del equipo y materiales: Se plantea la posibilidad de usar materiales más resistentes (por ejemplo: fibra de vidrio) para reducir la diversidad de materiales, facilitar el armado y mantenimiento, y disminuir las pérdidas térmicas por conductividad y fugas de líquido.
- Reducción de pérdidas térmicas: Mejorar el aislamiento, sellado de juntas y optimizar la posición de la resistencia eléctrica dentro de la batea.
- Automatización de procesos: control de flujo, alimentación y medición de la producción.
- Diseño más compacto: equipos más ligeros con menor diversidad de materiales facilitarían el transporte, montaje y costos de logística y mantenimiento.

Otros usos potenciales del equipo de desalinización mejorado

El equipo de destilación solar mejorado no solo es útil para la reducción de la salinidad del agua en zonas rurales; también presenta aplicaciones relevantes para usos hospitalarios, de laboratorio y otros ámbitos que requieren agua de alta pureza.

Figura 9: Destilador de laboratorio con sistema de alimentación continuo.

Por ejemplo, en laboratorios generalmente se usan destiladores con alimentación continua (Figura 9) que, si bien garantizan la purificación del agua, presentan una desventaja importante: el consumo de agua excesivo debido a la descarga de parte del agua de alimentación como efluente sin ser utilizada completamente. Este derroche, además de incrementar los costos operativos, implica un uso ineficiente de los recursos hídricos.

En este contexto, el destilador solar mejorado constituye una alternativa económica y ambientalmente sostenible. Su diseño permite obtener agua destilada de alta calidad sin depender de un flujo constante de alimentación ni generar volúmenes significativos de efluentes, reduciendo tanto el gasto de agua como el consumo energético asociado.

CONCLUSIONES

La destilación de agua para consumo humano y procesos industriales representa un desafío importante para satisfacer una demanda de agua segura en continua expansión, tanto por el crecimiento poblacional mundial como por la contaminación de napas freáticas y la falta de disponibilidad de agua dulce derivada del cambio climático en vastas zonas del planeta. Si bien existen actualmente distintas tecnologías eficientes para la destilación de agua, la destilación solar se presenta como una solución sostenible y de bajo costo para pobladores rurales que consumen cantidades relativamente bajas del líquido elemento.

En este trabajo se presentó la descripción y evaluación experimental de una mejora tecnológica que permite triplicar la producción diaria de agua destilada con destiladores solares de batea mediante la inclusión de una resistencia eléctrica de 2 kW, operada mediante un termostato, para el funcionamiento del equipo durante las noches y en días nublados. Con esta mejora se obtienen 24 l diarios de agua destilada con una CE de sólo 12 µS/cm a un costo de $ 73/l. Estos valores evidencian un salto de calidad importante frente a los sistemas convencionales de destilación de agua ya que, además, es una producción sostenible que no derrocha agua durante su funcionamiento como los destiladores de laboratorio. Al calentar el agua de la batea hasta los 60 °C (temperatura de termostatización óptima) durante la mayor parte del día, es altamente probable que el agua no sólo resulte desalinizada sino también segura desde el punto de vista microbiológico y, por lo tanto, apta para el consumo humano. Resta realizar esta determinación analítica.

Con los datos recogidos durante 4 meses del año, cubriendo el verano, otoño e invierno de 2025, se obtuvo una ecuación que permite calcular el consumo eléctrico del equipo en base a la cantidad de litros de agua destilada que debe producirse por día. Esta ecuación es una importante herramienta de dimensionamiento tanto para instalaciones domiciliarias como para futuras plantas de tratamiento de aguas duras en distintos municipios de la provincia de Salta donde las condiciones del agua natural no son aptas para el consumo humano.

A futuro, se prevé la optimización del diseño del destilador reemplazando la batea de madera y lona de PVC por una batea de fibra de vidrio para que se pueda elevar la temperatura de termostatización a 70°C con lo cual se producirá una mayor cantidad de destilado diario y de calidad del agua de acuerdo a resultados previos obtenidos en este trabajo. Esta mejora constructiva permitirá aumentar la vida útil del equipo e incluir menos partes móviles que posee el diseño original. También se implementarán evaluaciones experimentales del equipo mejorado trabajando bajo condiciones reales de funcionamiento en un municipio a determinar.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Silvina González INENCO CONICET por facilitar los datos de la estación meteorológica.
A la Dra. Soledad Rodríguez – Álvarez INENCO CONICET por brindar información sobre calidad de agua en zonas rurales.
A la Lic. Natacha Liendro INENCO – CONICET por el apoyo en la medición de parámetros físico – químicos.

REFERENCIAS

Al-Garni, A. Z. (2014). Productivity enhancement of single slope solar still using immersion-type water heater and external cooling fan during summer. Desalination and Water Treatment, 52(34-36), 6295-6303.

Auge, M.; Wetten, C.; Baudino, G.; Bonorino, A. y Gianni, R.; Hidrogeología de Argentina; Instituto Geológico y Minero de España; Boletín Geológico y Minero; 117; 1; 12-2006; 7-23. ISSN: 0366-0176.

Arjunan, T. V., Aybar, H. Ş. y Nedunchezhian, N. (2009). Status of solar desalination in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2408-2418.

Boujon, P. S., Fernández, D., Pereyra, F. X., Trevisiol, S. A., Lamarca, L., Gambandé, L., & Rodríguez, V. (2019). Contribución al conocimiento hidrogeológico de la región chaqueña Argentina. https://repositorio.segemar.gob.ar/handle/308849217/2893

Dawood, M. M. K., Omar, A. H., Shehata, A. I., Samir Shehata, A., Taha, A. A. E., El-Shaib, M. N., & Mohamed, M. K. (2022). 3E enhancement of freshwater productivity of solar still with heater, vibration, and cover cooling. Environmental Science and Pollution Research, 29(43), 65787-65805.

Código Alimentario Argentino (2012). Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada". Agua potable. Artículo, 982.

Esteban C., Franco J. y Fasulo A. (2000) Destilador Solar Asistido Con Colector Solar Acumulador. Actas de ASADES

Franco, J., Caso, R., Fernández, C., y Saravia, L. (1997). El diseño de destiladores de batea para grupos familiares en el Chaco Salteño. Energías Renovables y Medio Ambiente, 3, 41-46.

Mahboob, K.; Awais, Q.; Yahya, M.; Mehtab, M.; Khan, A. Productivity Enhancement of Solar Water Desalination Unit Using a Solar ElectricWater Heater. Eng. Proc. 2021, 12, 53. https://doi.org/10.3390/engproc2021012053

Prasad, A. R., Athikesavan, M. M., Kabeel, A. E., Sumithra, M. G., Sathyamurthy, R., & Thakur, A. K. (2022). Analysis of a solar still with photovoltaic modules and electrical heater-Energy and exergy approach. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(38), 57453-57465.

TECHNOLOGICAL ENHANCEMENT OF A BASIN-TYPE SOLAR STILL INCORPORATING A CONTROLLED ELECTRIC HEATING ELEMENT

ABSTRACT This paper presents the description and experimental evaluation of a technological enhancement that enables a threefold increase in the daily production of distilled water in basin-type solar stills through the incorporation of a 2 kW electric heating element, allowing the system to operate during nighttime hours and on cloudy days. With this improvement, a daily output of 24 l of distilled water is achieved, with a conductivity of only 12 µS/cm, at a cost of USD 0,073 per liter—figures that are highly competitive within the local distilled water market. Based on data collected over a four-month period in 2025, a correlation was established to estimate the system's electrical consumption as a function of the required daily production of distilled water. This equation serves as an important design tool for both household-scale installations and future treatment plants for hard water in municipalities where natural water conditions are unsuitable for human consumption. The potential of this technological improvement lies in its low cost, ease of installation and maintenance, and its capability to provide safe water to rural communities, mining camps, and remote areas with access to the electrical grid.

Keywords: Solar distillation, electric heating, rural regions, water treatment.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 77-85 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

TESTEO DE DOS MODELOS EDUCATIVOS DE CALENTAMIENTO DE AGUA SOLAR PARA LA ESCUELA 4.078 DE VAQUEROS, SALTA

Andrés Emanuel Díaz[1,2], Nicolás Di Lalla[2], Emanuel Armata[1], Emanuel Montaño[1], Ricardo Tolaba[1] y Alejandro Hernández[1,2]

[1]Universidad Nacional de Salta (UNSa)-Departamento de Física

[2]Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO–CONICET)

Av. Bolivia 5150, A4400FVY, Salta, Argentina.

Tel. 54-0387-4255579 – Fax 54-0387-4255489. e-mail: andres@exa.unsa.edu.ar

RESUMEN: En las últimas décadas, el uso de energías renovables ha cobrado relevancia como alternativa sostenible para mitigar los impactos ambientales asociados al consumo de combustibles fósiles. Este trabajo presenta la construcción y evaluación de dos prototipos solares térmicos (termosifónico (CT) y circulación forzada (CF)) desarrollados con materiales reciclados para la Escuela N° 4.078 Dr. Bernabé López en Vaqueros, Salta. El objetivo fue evaluar su desempeño en condiciones reales midiendo temperatura, irradiancia y eficiencia. Durante dos días de prueba, el sistema CT alcanzó una eficiencia del 76,9 % y una temperatura final de 49,3 °C, mientras que el CF mostró una eficiencia máxima del 48,37 % y 45,9 °C. La potencia útil máxima fue de 361,6 W (CT) y 214,8 W (CF). Los resultados demuestran que el CT, con menor masa de agua por área colectora (31,25 kg/m²), presenta mayor salto térmico, mientras que el CF responde más rápidamente. Ambos sistemas son viables para aplicaciones educativas y de agua caliente sanitaria en entornos rurales.

Palabras clave: energías renovables, sistemas solares térmicos, comunidades rurales, eficiencia energética, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el uso de energías renovables ha cobrado relevancia como alternativa sostenible para mitigar los impactos ambientales asociados al consumo de combustibles fósiles. Entre estas tecnologías, los sistemas solares térmicos, como los calefones solares, los concentradores solares para agua sanitaria, los destiladores y los colectores solares para consumo de agua, han demostrado ser soluciones eficaces para satisfacer necesidades básicas en comunidades con acceso limitado a recursos energéticos convencionales. Estos sistemas no solo reducen la huella de carbono, sino que también promueven la autonomía energética y mejoran la calidad de vida en zonas rurales o periurbanas.

La implementación de sistemas solares térmicos en zonas rurales ha demostrado ser una solución efectiva para mejorar las condiciones de vida y reducir el consumo de energía convencional. Estudios recientes, como el de (Tian et al., 2023), destacan el éxito de tecnologías como los colectores solares de aire y los espacios anexos acristalados (sunspaces) en regiones frías, donde se logró incrementar la temperatura interior en 2,2 °C y reducir el consumo energético en un 37 %. Estos resultados refuerzan la viabilidad de adaptar sistemas solares, como los calefones con CPC, a entornos rurales, donde la combinación de bajo costo, eficiencia energética y sostenibilidad puede generar un impacto significativo en comunidades educativas y sociales. En el contexto local, investigaciones previas del grupo de trabajo han establecido antecedentes sólidos para el desarrollo de sistemas solares térmicos. (Díaz et al., 2022) documentaron la construcción exitosa de prototipos solares didácticos con materiales reciclados, validando su funcionamiento en aplicaciones educativas. Complementariamente, (Di Lalla et al., 2023)

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

demostraron que un colector plano operando en régimen forzado puede entregar hasta un 130 % más de calor útil al agua del tanque en horas de la mañana, comparado con el modo termosifónico. Asimismo, (Di Lalla et al., 2022) desarrollaron un calefón solar de bajo costo con circulación forzada autónoma que alcanzó temperaturas de 52 °C en días invernales, confirmando la viabilidad de esta tecnología en entornos rurales del NOA. Estos antecedentes refuerzan la viabilidad de adaptar sistemas solares, como los calefones con CPC presentados en este trabajo, a entornos rurales, donde la combinación de bajo costo, eficiencia energética y sostenibilidad puede generar un impacto significativo en comunidades educativas y sociales.

En Argentina, el uso de calefones solares para agua caliente sanitaria (ACS) presenta un potencial significativo debido a los altos niveles de insolación en gran parte del territorio, especialmente en regiones como el Noroeste (NOA) y Cuyo. Sin embargo, su adopción aún es incipiente, con una superficie instalada estimada en 40.000 m² de colectores solares térmicos, según datos de la Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2025). A diferencia de países líderes como China o Israel, Argentina carece de una legislación nacional que promueva masivamente esta tecnología, aunque algunas provincias, como Santa Fe y Buenos Aires, han implementado normativas locales para su incorporación en edificios públicos y viviendas sociales. Los beneficios incluyen ahorros energéticos del 50-80% en el consumo de gas natural o electricidad, dependiendo de la zona climática, así como la reducción de emisiones de CO_2. Proyectos como el PERMER (Energías Renovables en Mercados Rurales) han instalado sistemas solares térmicos en escuelas y centros sanitarios rurales, mientras que iniciativas como el Fondo para el Medio Ambiente Mundial GEF 4861 (Banco Mundial, 2015) buscan integrar eficiencia energética y renovables en viviendas sociales. No obstante, la falta de políticas integrales y subsidios limita su expansión, a pesar de los avances en fabricación local y el apoyo de instituciones como el INTI y universidades nacionales (Veitzman, 2015).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el desempeño térmico y la eficiencia de dos prototipos de calefones solares (termosifónico y circulación forzada) construidos con materiales reciclados, bajo condiciones reales en la Escuela N° 4.078 de Vaqueros, Salta. Estos sistemas buscan no solo abordar la necesidad local de agua sanitaria, sino también servir como modelos educativos que promuevan la conciencia ambiental y el uso de energías renovables. Mediante un análisis técnico y socioambiental, se evalúa su impacto en la reducción energética, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU. La elección de tecnologías solares se fundamenta en su bajo costo, facilidad de mantenimiento y adaptabilidad a las condiciones climáticas de la región.

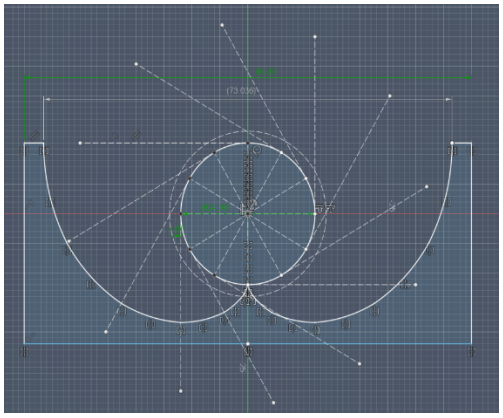
MATERIALES Y MÉTODOS

Calefón Solar CPC (Sistema Termosifónico)

El calefón solar tipo CPC (Concentrador Parabólico Compuesto) se construyó utilizando materiales económicos y reciclados para garantizar sostenibilidad y bajo costo. El concentrador se fabricó con Mylar, seleccionado por sus propiedades reflectantes. La estructura principal consistió en perfiles C reciclados, mientras que la base se elaboró con retazos de policarbonato. El absorbedor fue una manguera de polietileno de 24 mm de diámetro y 1 m de largo, y la cubierta se realizó con film alveolar para mejorar la retención de calor. Como acumulador se empleó un tacho reciclado de 20 litros, y se utilizó poliestireno expandido como aislante térmico en las paredes del colector y el tanque.

Diseño y Construcción del Calefón Solar CPC

El diseño del CPC se desarrolló mediante GeoGebra y Autodesk Fusion 360, Figura 1(a) y Figura 1 (b), donde se modelaron las involutas del círculo correspondiente al diámetro de la manguera. Se obtuvo una superficie reflectante de 0,073 m de ancho × 1 m de largo, con un área de colección de 0,073 m². La estructura se ensambló cortando 8 tramos de manguera de 1,905 cm de diámetro interno (110 cm de largo), unidos con conexiones tipo T y codos mediante una pistola de calor, Figura 2(a). El marco del colector se construyó con perfiles C de 1,2 m × 0,8 m, Figura 2(b), y los soportes para el CPC se fabricaron con impresión 3D y se fijaron a una placa de policarbonato, Figura 2(c). Finalmente, se colocaron tiras de Mylar (1 m × 0,11 m) en los soportes, Figura 2(d) y se ensambló la estructura, conectando el tanque acumulador, Figura 2(e).



(a)

(b)

Figura 1: Diseño del soporte en GeoGebra y Autodesk Fusion 360.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Figura 2: Diseño y construcción del colector solar de circulación termosifónica.

Diseño y construcción del calefón con circulación forzada

El calefón solar con circulación forzada se diseñó para garantizar un flujo constante de agua, superando las limitaciones del termosifón natural en condiciones de baja irradiación o demandas térmicas elevadas. Se priorizó el uso de materiales económicos y disponibles localmente, como madera de pino, polietileno y componentes reciclados, para facilitar su replicabilidad en comunidades rurales. El sistema se optimizó para operar con energía fotovoltaica autónoma, eliminando la dependencia de la red eléctrica. A continuación, se detalla la estructura del colector solar de agua:

- Carcasa: Fabricada con machimbre de pino de 12,5 mm de espesor, ensamblada sobre una estructura rigidizada con listones de 5,08 cm × 2,54 cm, Figura 3(a).
- Aislamiento: Se colocó espuma de polietileno de 40 mm en la parte posterior y laterales para minimizar pérdidas por conducción.
- Cubierta transparente: Una lámina de policarbonato alveolar de 4 mm, fijada a 8 cm de la placa absorbedora, permitió el efecto invernadero interno mientras reducía convección, Figura 3(c).

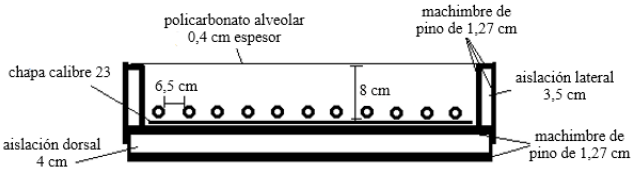
Sistema absorbedor y circuito hidráulico:

- Placa absorbedora: Una chapa metálica pintada de negro mate, con 11 tubos de polietileno de 1,27 cm de diámetro interior (63 cm de largo) fijados con alambre para maximizar la transferencia de calor, Figura 3(b).
- Conexiones: Tuberías de 1,905 cm de diámetro interno en la entrada y salida, acopladas con reducciones T para distribuir el flujo en los tubos absorbedores. Las dimensiones interiores de la distribución de las conexiones se muestran en Figura 3(d).

(a)

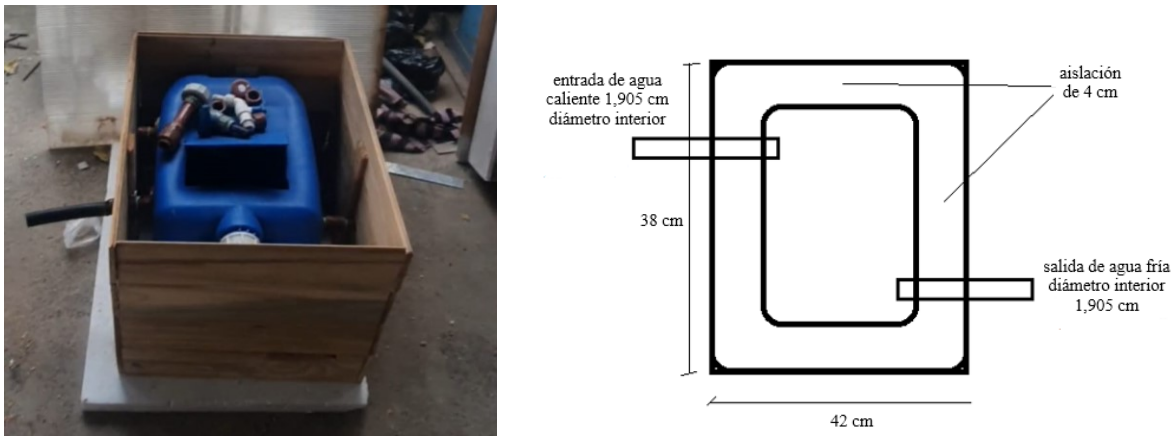
(b)

(c)



(d)

Figura 1: Armado estructura del colector



(a) (b)

Figura 4: Armado del tanque de acumulación y vista en corte de dimensiones.

Mecanismo de circulación forzada:

- Bomba: Una bomba de CC de 12 V y 3 W, seleccionada por su bajo consumo y compatibilidad con sistemas fotovoltaicos aislados.
- Alimentación energética: Panel Fotovoltaico de 7 W (22 V de V_{oc} y 0,21 A de I_{sc}), conectado directamente a la bomba sin baterías, asegurando operación solo durante horas de radiación.
- Adaptadores: Se usaron mangueras flexibles de 1,905 cm diámetro interno y acoples para integrar la bomba al circuito hidráulico.

Tanque de almacenamiento térmico:

- Contenedor: Bidón plástico de 25 L, modificado con conexiones de 1,905 cm diámetro interno para entrada (fría) y salida (caliente), Figura 4(a). Las dimensiones del tanque acumulador se muestran en la Figura 4(b).
- Aislamiento: Espuma de polietileno de 4 cm en paredes internas de la caja de madera que aloja el bidón, reduciendo pérdidas nocturnas.

Proceso constructivo:

1. Ensamblaje de la carcasa: Armado del marco de madera con sellado de juntas (silicona transparente) para evitar infiltraciones de aire.
2. Instalación del absorbedor: Fijación de la placa metálica y tubos, verificando contacto uniforme para evitar puntos fríos.
3. Integración hidráulica: Conexión de tuberías, bomba y tanque, con pruebas de estanqueidad (llenado del tanque con agua y circulación forzada) antes del llenado final.
4. Protección final: Pintura sintética en la estructura de madera y ajuste de la cubierta transparente. En la Figura 5 se muestra el sistema de circulación en funcionamiento.

Validación de los diseños

El prototipo se sometió a pruebas en condiciones reales en el norte salteño, la inclinación de los colectores se lo fijo en la latitud de la localidad para un aprovechamiento anual, 25° (latitud de Vaqueros), medición de las temperaturas (Termómetro Fluke 54 II) e irradiancia (Solarímetro CEM DT-1307) para correlacionar su eficiencia con la radiación solar disponible. Las temperaturas se midieron cada 10 minutos en las entradas de los colectores y en el interior de los tanques acumuladores, a una altura de ¾ especto de su base, mediante termómetros Fluke 54 II. La irradiancia solar se registró cada 10 minutos en el plano del colector (25º) mediante un solarímetro CEM DT-1307. Las pruebas se realizaron los días 7 y 8 de julio de 2025, en condiciones de sistema cerrado, sin extracción de agua.

Para ambos colectores solares se calculó de energía útil transferida al tanque acumulador mediante Ecuación (1), a partir del cambio de temperatura del agua acumulada. Conociendo el tiempo total Δt de

los ensayos calculamos la potencia útil diaria entregada al sistema mediante Ecuación (2). Finalmente, se estimó la eficiencia global de los colectores solares para los días 7 y 8 de julio, Ecuación (3).

Figura 5: Sistema con recirculación forzada en funcionamiento (Bomba 12V CC y Panel fotovoltaico de 7 W).

Determinamos la eficiencia térmica global del colector $\eta_{calector}$, teniendo en cuenta la temperatura inicial $T_{inicial}$ y temperatura final T_{final} del agua contenida en el tanque acumulador. La potencia recibida por el colector $Q_{recibido}$ es la irradiación solar integrada en el tiempo por el área del colector A_c.

$$E_{util} = m * Cp * (T_f - T_i) \quad (1)$$

$$Q_{util} = \frac{E_{util}}{\Delta t} \quad (2)$$

$$\eta_{calector} = \frac{Q_{util}}{Q_{recibido}} = \frac{Q_{util}}{\bar{I} * A_c} \quad (3)$$

Donde:
E_{util} = calor sensible [J]
Q_{util} = calor útil total diaria [W]
m = masa de agua en el tanque acumulador [kg]
T_f = temperatura final del agua del tanque acumulador [ºC]
T_i = temperatura inicial del agua del tanque acumulador [ºC]
C_p = calor especifico del agua [J/kg ºC]
Δt = rango de tiempo [s]
A_c = área del colector [m^2]
$\eta_{calector}$ = eficiencia total diaria del colector
$Q_{recibido}$ = irradiancia promedio diaria por área del colector [W]

La eficiencia calculada en este trabajo corresponde a una eficiencia global diaria del sistema bajo condiciones específicas de prueba, definida como la relación entre la energía útil ganada por el agua en el tanque acumulador y la energía solar incidente total en el colector durante el período de medición. Cabe destacar que esta definición no sigue los procedimientos estandarizados de las normas IRAM 210002-1 o ISO 9806 para caracterización de colectores solares, ni la norma IRAM 210004 para sistemas compactos, sino que representa un indicador de desempeño comparativo entre ambos prototipos bajo las mismas condiciones experimentales.

RESULTADOS

La Figura 6 muestra el comportamiento térmico de ambos sistemas durante el día 7 de julio, donde se observan diferencias significativas en su respuesta. El colector de circulación forzada (CF) presenta una curva de calentamiento más pronunciada, alcanzando 45,9 °C en el tanque acumulador (desde 22,5 °C inicial), lo que evidencia su rápida transferencia de calor gracias al flujo constante generado por la bomba. En contraste, el sistema termosifónico (CT, línea naranja) muestra una pendiente más gradual, llegando a 39 °C (desde 10,2 °C inicial), reflejando su dependencia de la convección natural. El salto térmico del sistema termosifónico es mayor al del sistema forzado. Los valores iniciales de las temperaturas de los calefones se deben a que el calefón CF se le realizo una prueba de estanqueidad para evitar pérdidas, esto llevo a que unos minutos reciba energía solar en el colector. Las fluctuaciones en el CT son más marcadas, especialmente durante las horas de menor irradiancia (media de 716,25 W/m²), lo que sugiere mayor sensibilidad a cambios ambientales. La eficiencia $\eta_{calector}$ del CF (48,3 %) superó al CT (46,1 %) este día, corroborando su mejor desempeño incluso en condiciones de radiación moderada. En la Tabla 1 se detallan las características comparativas de ambos colectores.

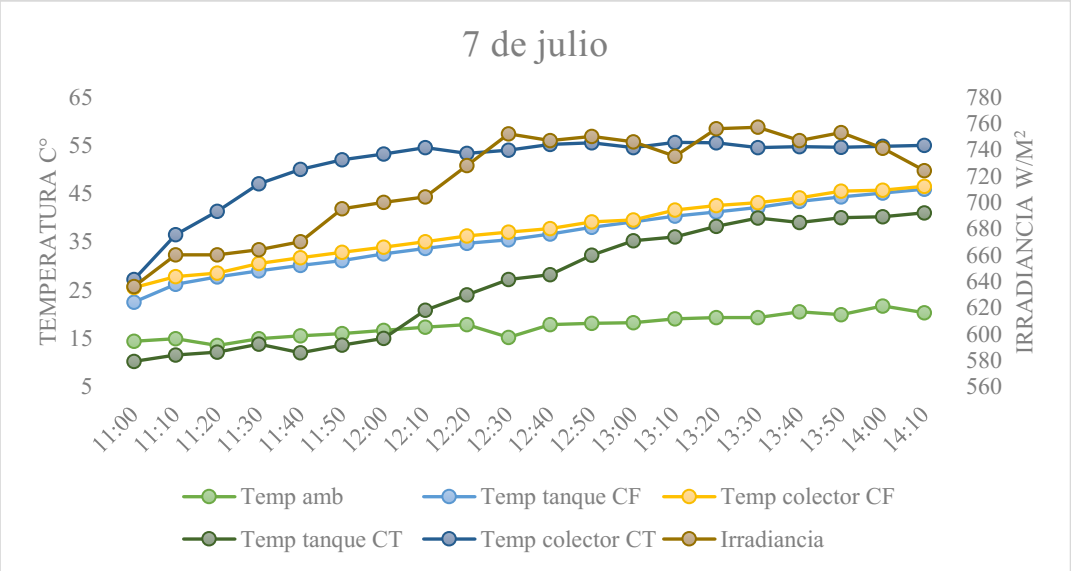


Figura 6: Evolución de las temperaturas de ambos colectores para el día 7 de julio

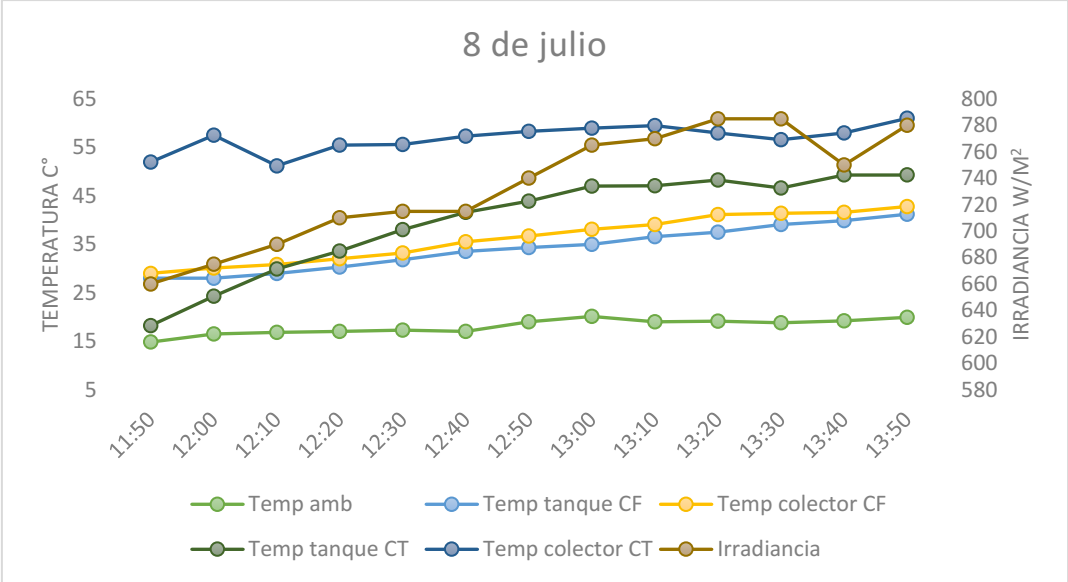


Figura 7: Evolución de las temperaturas de ambos colectores para el día 8 de julio.

En la Figura 7, correspondiente al 8 de julio con mayor irradiancia promedio (769,8 W/m²), el tanque acumulador del sistema CF alcanzo una máxima de 41,2 ºC y 49,3 ºC para el sistema CT, pero con dinámicas distintas. La temperatura del colector del CF mantuvo una curva de calentamiento estable y rápida, logrando 42,8 °C de máxima (desde 28 °C inicial) y una eficiencia del 42,2 %, gracias a su mecanismo de circulación activa que maximizó el aprovechamiento de la radiación disponible. La Tabla 1 muestra las características comparativas de ambos colectores. Por su parte, el CT mostró un incremento térmico más lento en las primeras horas, pero con un salto final destacable y mayor al del CF (49,3 °C desde 18,2 °C), alcanzando una eficiencia del 76,9 %. Nuevamente el salto térmico del sistema termosifónico es superior al sistema forzado, lo que permite inferir un mayor rendimiento. Esta diferencia resalta la adaptabilidad del CT a demandas prolongadas, aunque con mayor inercia térmica. Cabe destacar que el sistema CT tiene 31,25 kg/m^2 de masa de agua por unidad de área colectora, contra los 40,32 kg/m^2 del sistema CF. Ambas figuras y la Tabla 1 confirman que, mientras el CF es ideal para aplicaciones que requieren respuestas rápidas, el CT ofrece robustez en escenarios de uso continuo con menor urgencia.

Tabla 1: características comparativas de ambos colectores.

Característica	Colector Circulación Forzada		Colector Circulación Termosifónica	
	7 de julio	8 de julio	7 de julio	8 de julio
Área del colector (m^2)	0,62		0,64	
Tiempo de medición (s)	11.400	7.200	11.400	7.200
Irradiancia promedio (W/m^2)	716,25	769,8	716,25	769,8
Masa de agua en el acumulador (kg)	25		20	
Inclinación del colector (°)	25		25	
Temperatura inicial acumulador (ºC)	22,5	28	10,2	18,2
Temperatura final acumulador (ºC)	45,9	41,2	41,2	49,3
Energía útil (J)	2.448.810	1.381.380	2.578.576	2.603.692
Potencia útil (W)	214,80	191,86	226,19	361,63
Potencia recibida en el colector (W)	444,06	454,99	458,40	469,66
Eficiencia (%)	48,37	42,16	49,34	76,9
Costo de construcción ($)	60.000		90.000	

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante dos días de medición permiten concluir que ambos prototipos solares térmicos demostraron un desempeño viable para aplicaciones de calentamiento de agua en contextos educativos y rurales. El sistema de circulación forzada (CF) mostró una respuesta térmica más rápida y estable, con una eficiencia del 48,37 % el 7 de julio, aunque esta disminuyó al 42,16 % el 8 de julio bajo mayor irradiancia, alcanzando una temperatura máxima en el tanque de 41,2 °C. Por otro lado, el sistema termosifónico (CT) presentó una mayor inercia térmica inicial, pero logró un salto térmico superior, con una eficiencia notable del 76,9 % y una temperatura final de 49,3 °C el 8 de julio, favorecido por su menor masa de agua por unidad de área colectora (31,25 kg/m² frente a 40,32 kg/m² del CF).

La construcción con materiales reciclados y de bajo costo validó la replicabilidad de ambos diseños, con un menor costo de construcción para el sistema CF ($60.000 vs. $90.000 del CT). Si bien los resultados son alentadores, se recomienda realizar pruebas de mayor duración y bajo condiciones de uso real con extracción de agua para confirmar el desempeño a largo plazo y validar afirmaciones sobre ahorro energético y reducción de huella de carbono. Ambos sistemas se presentan como herramientas educativas prometedoras para la promoción de las energías renovables en comunidades rurales de alta insolación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección del colegio Dr. Bernabé López por la predisposición de recibirnos cordialmente, y al cuerpo de maestranza por estar dispuestos a usar los colectores solares para agua sanitaria.

REFERENCIAS

Banco Mundial. (2015). Documento del Proyecto GEF 4861: Eficiencia Energética en las Provincias de Argentina. https://www.gef.org/projects-operations/projects/4861

Cámara Argentina de Energías Renovables (CAER). Informe uso de calefones solares para agua caliente sanitaria (ACS) en Argentina. Ultimo acceso junio 2025. https://www.cader.org.ar/

Díaz, A. E., Di Lalla, N., Hernández, A., Cancino, D., Barnichea, M., Rodríguez, M., Romero, S., & Morales Wayar, R. B. (2022). Construcción de equipos solares en el marco de la tecnicatura universitaria en energía solar (UNSa). Acta de la XLIV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 9, 196-206.

Di Lalla, N., Díaz, A. E., & Hernández, A. L. (2023). Convección natural vs circulación forzada en un colector solar de placa plana. Acta de la XLV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 10, 104-112.

Di Lalla, N., Díaz, A. E., Becchio, V., & Hernández, A. L. (2022). Calefón solar de bajo costo con circulación forzada autónoma. En: "Ciências Socialmente Aplicáveis: Integrando Saberes e Abrindo Caminhos" Vol. IX, Cap. 16, pp. 180-192. Editora Artemis.

Veitzman Silvia. (2015). Uso de calefones solares en Argentina. Tesis de la maestría en gestión de la energía. Universidad Nacional de Lanús-Departamento de planificación y políticas públicas.

TESTING OF TWO EDUCATIONAL SOLAR WATER HEATING MODELS FOR SCHOOL 4.078 IN VAQUEROS, SALTA

ABSTRACT: In recent decades, the use of renewable energy has gained relevance as a sustainable alternative to mitigate the environmental impacts associated with fossil fuel consumption. This work presents the construction and evaluation of two solar thermal prototypes—thermosiphon (TS) and forced circulation (FC)—developed using recycled materials for School No. 4.078 Dr. Bernabé López in Vaqueros, Salta. The objective was to evaluate their performance under real conditions by measuring temperature, irradiance, and efficiency. During two days of testing, the TS system achieved an efficiency of 76.9 % and a final temperature of 49.3 °C, while the FC system showed a maximum efficiency of 48.37 % and a temperature of 45.9 °C. The maximum useful power was 361.6 W (TS) and 214.8 W (FC). The results demonstrate that the TS, with a lower water mass per collector area (31.25 kg/m²), exhibits a greater temperature increase, while the FC responds more rapidly. Both systems are viable for educational and domestic hot water applications in rural settings.

Keywords: renewable energy, solar thermal systems, rural communities, energy efficiency, sustainability.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 86-97 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

MÉTODO PARA EVALUAR LA ENERGÍA INYECTADA Y CONSUMIDA DESDE LA RED EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL DEL NORDESTE ARGENTINO

Hugo D. Zurlo[1], Bettiana A. Virgona[1], Leonardo G. Barabas[1], Gustavo R. Figueredo[1]
[1]Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropiadas (GITEA). Facultad Regional Resistencia - Universidad Tecnológica Nacional (FRRe - UTN)
French 414, C.P. 3500 Resistencia – Chaco
Tel. 0362-4432683 – e-mail: hzurlo@gmail.com

RESUMEN: Este trabajo presenta una metodología para caracterizar el comportamiento energético de una instalación residencial con generación distribuida fotovoltaica, a través de tres parámetros adimensionales: la relación temporal, el factor de carga y la relación de generación. El objetivo es cuantificar la interacción entre la energía demandada por las cargas, la consumida desde la red, la generada por la planta solar y la inyectada a la red como excedente. La metodología se aplicó a una vivienda unifamiliar ubicada en la ciudad de Resistencia, Argentina, utilizando registros de potencia cada tres minutos durante un mes de alta demanda térmica. Se procesaron los datos para obtener perfiles horarios característicos y se calcularon los indicadores propuestos. A partir de ellos, se estimó la energía diaria intercambiada con la red. Los resultados muestran que es posible predecir con precisión la energía inyectada y consumida desde la red utilizando solo los valores medios y las relaciones adimensionales. La metodología permite evaluar la eficiencia energética y económica de la instalación, y se propone como herramienta para el diseño y análisis de sistemas residenciales con generación fotovoltaica.

Palabras clave: generación distribuida, Autoconsumo energético, energía inyectada, instalaciones fotovoltaicas residenciales.

INTRODUCCIÓN

La generación distribuida (GD), a través de sistemas fotovoltaicos (SFV) conectados a la red, se ha consolidado como una alternativa clave en la transición energética global. Su aplicación en entornos residenciales permite generar parte de la energía demandada, disminuyendo la dependencia de redes centralizadas, reduciendo pérdidas de transporte y emisiones asociadas a fuentes fósiles (Eltawil y Zhao, 2010; Luthander y Palm, 2015).

Un desafío central en los SFV es la asincronía entre generación solar y demanda doméstica, lo que condiciona tanto el diseño como la operación de las instalaciones. Por ello, resulta fundamental modelar y predecir el comportamiento energético, con el fin de optimizar la eficiencia y la rentabilidad. Diversos autores han propuesto indicadores como el load matching, el self-consumption ratio o el exported energy factor para caracterizar el desempeño (Mubarak y Vassileva, 2019; Weitemeyer y Agert, 2014). Asimismo, se han explorado soluciones de almacenamiento eléctrico y térmico, entre ellas el uso de resistencias asociadas a tanques acumuladores, consideradas viables y de bajo costo (Yong et al., 2021).

Castro (2022) muestra que la relación entre generación solar y demanda es determinante para maximizar el autoconsumo y la rentabilidad. Otro aspecto relevante es el esquema tarifario: en la provincia del Chaco (Argentina), la energía consumida se paga entre 0,06 y 0,13 USD/kWh, mientras que la inyectada se compensa como crédito sin tarifa oficial (SEChEEP, 2021; UDEA, 2025). En contraste, Brasil aplica *net-metering* hasta por 36 meses con una tarifa de 0,168 USD/kWh (Presidência da República, 2022); Chile remunera la inyección a 0,054 USD/kWh con un consumo de 0,256 USD/kWh (Comisión

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Nacional de Energía, 2024); y Uruguay sostiene un esquema 1:1 desde hace más de una década (UTE, s.f.). Estas diferencias afectan directamente los tiempos de amortización y refuerzan la necesidad de estrategias que aumenten el autoconsumo (GlobalPetrolPrices.com, 2024).

En cuanto a estrategias técnicas, Maranda (2019) plantea que el tamaño óptimo de un SFV debería aproximarse a la demanda anual local, logrando coberturas del 30–60 % sin almacenamiento.
Luthander (2015) define el autoconsumo como la fracción de la energía fotovoltaica consumida directamente, identificando dos formas de incrementarlo: almacenamiento en baterías y gestión de la demanda (*DSM, por sus siglas en inglés)*. Los resultados muestran mejoras de entre 13–24 % con almacenamiento de 0,5–1 kWh/kW instalado, y de 2–15 % con DSM.

Amabile (2020) analiza la optimización de la energía autoconsumida producida localmente por paneles fotovoltaicos residenciales con en una configuración simplificada donde solo se regula el calentador de agua eléctrico (*EWH, por sus siglas en inglés*), mientras que el resto de los electrodomésticos representan una carga incontrolable. Las simulaciones realizadas en el software Dymola (software comercial de simulación basado en Modélica) durante un horizonte temporal de un año permiten demostrar las ventajas y el rendimiento del método propuesto.

En paralelo, se han estudiado tecnologías de almacenamiento avanzadas. Li et al. (2018) desarrollan un volante de inercia de 100 kWh y 100 kW con rotor sin eje, destacando su durabilidad y bajo costo. Amiryar (2017), concluye que los sistemas de almacenamiento con volante de inercia (*FESS, por sus siglas en inglés*) ofrecen vida útil, eficiencia elevada y bajo impacto ambiental. Destaca que los *FESS so*n ideales para aplicaciones que requieren muchos ciclos, como respaldo de red, calidad de energía y transporte.

En este trabajo se presenta una metodología para caracterizar el comportamiento energético de una instalación fotovoltaica residencial mediante el uso de tres parámetros adimensionales: la relación temporal, el factor de carga y la relación de generación. Estos indicadores permiten evaluar la interacción entre la energía generada, demandada, consumida desde la red e inyectada como excedente. A partir del análisis de datos reales medidos en una vivienda ubicada en Resistencia, se propone una herramienta simple y versátil que permite estimar el desempeño energético y económico de instalaciones de generación distribuida, con potencial de aplicación en distintos contextos regionales.

MATERIALES Y MÉTODO

Se definen cuatro magnitudes básicas: Potencia demandada (PD), necesaria para los artefactos conectados; Potencia consumida (PR), tomada desde la red; Potencia generada (PG), entregada por el SFV; y Potencia inyectada (PI), excedente cuando PG supera a PD. De ellas se derivan las energías correspondientes.

El estudio se realizó en una vivienda unifamiliar de 65 m² en Resistencia (Argentina), habitada por tres personas, con un consumo total de 544 kWh durante febrero de 2025. Los principales usos eléctricos fueron refrigeración, climatización (tres aires acondicionados), producción de agua caliente (termotanque), cocción y otros electrodomésticos.

La instalación de generación solar se compone de dos paneles fotovoltaicos montados sobre un techo de chapa senoidal de acero galvanizado, con una inclinación de 20º y un azimut de 45º hacia el NE y un microinversor con conexión a internet. Los paneles solares son monocristalinos con tecnología PERC HC de 144 celdas, potencia nominal máxima a STC (Standard Test Conditions) de 550 W, tensión a circuito abierto (Voc) 50,4 V, corriente de cortocircuito (Isc) 14,02 A, tensión a potencia nominal (Vmp) 42,2 V, corriente a potencia nominal (Imp) 13,27 A y eficiencia del módulo 21,48 %, STC: Radiación 1000 W/m², Temperatura de módulo 25°C, Masa del aire 1,5).

El microinversor Growatt NEO 1000M integra un sistema de adquisición de datos que mide simultáneamente parámetros de entrada (DC) y salida (AC). En el lado DC, registra potencia, tensión y corriente de los paneles fotovoltaicos; en el lado AC, mide potencia, frecuencia, tensión, corriente y

temperatura de operación. Todos los datos se transmiten mediante Wi-Fi a un servidor externo con un intervalo de registro de 5 minutos durante períodos de generación. La potencia se mide con resolución de 5 dígitos y apreciación de 0,05 W, aunque el fabricante no especifica el error exacto de las mediciones.

La medición de la demanda energética se realizó mediante un medidor Powermeter Home, que registra tensión *TrueRMS* (Verdadero Valor Eficaz) con resolución de 0,1 V y error de 0,5 % rdg ±1d, corriente (*True RMS*) con resolución de 0,01 A, sensibilidad de 0,2 A y error de 1 % rdg ±1d; potencias activa y reactiva con resolución de 1 W, sensibilidad de 5 W y error de ±3,5 % de P, ± 1,5 % de Q, ±1 d, y energías activa y reactiva con resolución de 0,01 kWh, sensibilidad de 0,01 kWh y error de ± 3,5 % de P, ± 1,5 % de Q, ± 1 d. Todos los datos se transmitieron cada 180 s (3 minutos) mediante Wi-Fi a un servidor externo.

Para el procesamiento de datos, se estandarizaron los formatos de fecha, hora y separadores decimales. Dado el diferente periodo de registro del inversor (5 minutos) y el medidor (3 minutos), se realizó una interpolación lineal de las mediciones del inversor para sincronizar todos los datos en intervalos de 5 minutos dentro de una planilla de cálculo unificada. A partir de estos datos sincronizados, se calcularon las energías en intervalos de 5 minutos y se procesan mediante una tabla dinámica, integrándose para su análisis en períodos horarios y diarios.

Se plantea el análisis de la relación entre las energías generada por la planta fotovoltaica, consumida por la carga interna, entregada por la red e inyectada a la red. Estas energías serán iguales a las integrales de las potencias instantáneas con respecto al tiempo. Se establecerá un día medio para cada mes subdividido en 5 rangos horarios, para cada rango horario se determinarán dos parámetros adimensionales que caracterizan la carga y un parámetro que relaciona la generación fotovoltaica y la demanda de energía.

En este trabajo, se define periodo de registro como el intervalo de tiempo entre mediciones consecutivas de las potencias instantáneas: demandada por las cargas, generada por la planta fotovoltaica, e intercambiada con la red. La elección de este período es crítica para calcular con precisión la energía inyectada o consumida desde la red, ya que determina la resolución temporal de los datos. Para valorar la trascendencia de este periodo se pueden considerar dos extremos, el primero en el que el periodo tiende a cero y entonces se obtienen potencias instantáneas, generadas, demandada e intercambiada con la red, sea esta última excedente o consumida, si estas potencias instantáneas se integran a lo largo del tiempo se tienen las energías correspondientes con la mayor exactitud permitida por los instrumentos. El otro extremo podría ser efectuar un análisis global con, por ejemplo, un periodo mensual en el que se compare la energía generada y la demandada a lo largo de un mes; se establezca si hay un excedente que se inyecta o un déficit que se consume desde la red y se sumen por un lado los excedentes de aquellos meses con buena irradiación y baja demanda y por otro lado los consumos de los meses con déficit con alta demanda y baja irradiación, Garre (2018). Esta última alternativa introducirá errores significativos en los resultados.

Desde la perspectiva de la generación fotovoltaica, un período de una hora permite caracterizar adecuadamente la variación diaria de la radiación solar, aunque no registra las fluctuaciones rápidas asociadas al paso de nubes. Para la demanda residencial, sin embargo, se requiere un período de registro significativamente menor debido a la presencia de cargas de alta potencia y corta duración. Por ejemplo, un horno microondas que opera a 1000 W durante 30 segundos consume 0,0083 kWh de energía. Si esta potencia se promedia en un intervalo de 300 segundos, se obtiene un valor medio de 100 W. Si durante ese período la generación fotovoltaica es también de 100 W, podría interpretarse incorrectamente que no existe intercambio con la red. No obstante, en la realidad, durante 30 segundos se consumieron de la red 0,0075 kWh (equivalente a 900 W de potencia media en ese lapso), mientras que durante los 270 segundos restantes se inyectaron a la red 0,0075 kWh (equivalente a 100 W de potencia media), resultando en un balance neto de 0,005 kWh inyectados

Haciendo un análisis instantáneo se pueden dar las situaciones ilustradas en la figura 1, A) cuando la potencia demandada por la carga sea superior a la generada y se consuma potencia desde la red o B) cuando la potencia demanda sea inferior a la generada y se inyecte energía a la red. Si ambas situaciones

se integran a lo largo del tiempo y se integran por separado la energía consumida desde la red y la inyectada a la red se puede dividir el nodo en dos partes e introducir un flujo ficticio al que llamaremos Energía generada autoconsumida E_{GC}, representado en C).

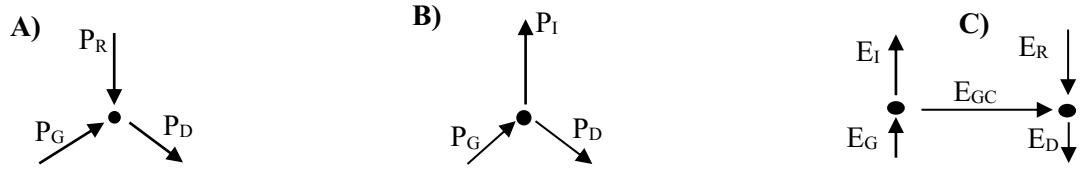


Figura 1: Flujos de potencia y energía, cuando: a) $P_D>P_G$, b) $P_D<P_G$, c) se presentan ambas situaciones anteriores

En el presente trabajo se hace una simplificación y se trabaja según A) o B) con las potencias medias durante 3 minutos, siendo este el periodo de registro, y posteriormente se adopta un rango horario nocturno de 12hs o 4 rangos horarios diurnos de 3 hs para hacer la integración según C). Analizando la potencia demandada por la instalación, en la figura 2 se representa con línea de trazo en rojo la evolución de la potencia instantánea durante un periodo arbitrario de tiempo τ, que se corresponde con un rango horario. Para simplificar la solución se efectúa la discretización de la potencia, suponiendo que durante dicho intervalo de tiempo arbitrario τ la potencia demandada por la carga interna solo puede adoptar dos valores, la potencia máxima, P_{MA}, o la potencia mínima P_{MIN}, igualando la energía demandada por la instalación, el área bajo la línea de trazos roja, con la energía demandada en el caso hipotético de que la potencia solo adopta uno de dos valores discretos, es decir el área sombreada en diagonal celeste, suponiendo además que la P_{MA} se demanda durante un intervalo τ_A, que corresponde al periodo de punta y el tiempo restante, periodo de valle, $(\tau-\tau_A)$, se demanda la P_{MIN}.

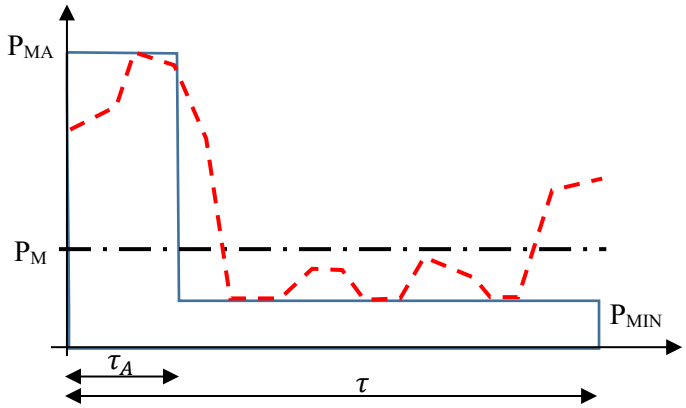


Figura 2: Discretización de la potencia demandada en máxima (de punta) y mínima (de valle)

Quedando la energía total demandada por la instalación expresada como la Ec. (1)

$$E_D = P_M\tau = \int_0^{\tau} P\,.\,d\tau \qquad (1)$$

También en función de las potencias máximas, mínima y los mencionados periodos de tiempo queda definida la potencia media demandada por la carga, P_M, durante dicho intervalo arbitrario, Ec. (2).

$$P_{MA}\tau_A + P_{MIN}(\tau - \tau_A) = P_M\tau \qquad (2)$$

Operando algebraicamente con la ecuación anterior

$$P_{MA}\tau_A - P_{MIN}\tau_A = P_M\tau - P_{MIN}\tau \qquad (3)$$

La relación entre el tiempo durante el cual se demanda la potencia máxima y el tiempo del periodo analizado se denomina relación temporal $R\tau$, que se define en Ec. (4)

$$R\tau = \frac{\tau_A}{\tau} \quad (4)$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores se puede obtener la relación temporal en función de las potencias máxima, mínima y media. Ec (5).

$$\tau = \frac{P_M - P_{MIN}}{P_{MA} - P_{MIN}} \quad (5)$$

En el ámbito de las instalaciones eléctricas se utiliza el concepto de factor de carga de una instalación eléctrica que es la relación entre la energía total consumida durante un período de tiempo y la energía máxima que se podría haber consumido si la instalación estuviera funcionando a su capacidad máxima durante ese mismo período. En otras palabras, mide qué parte de la capacidad máxima de la instalación se utiliza en promedio.

Para este trabajo es necesario adaptar la definición y en lugar de considerar la energía máxima a capacidad máxima de la instalación considerar la energía que se habría consumido si todo el tiempo se consumiese la potencia máxima medida durante el periodo analizado. Se podrían considerar periodos diarios u horarios, en este trabajo se adopta 12hs durante la noche y 3hs durante el día. En otras palabras, el factor de carga, Fc, es un numero adimensional que varía entre 0 y 1, definido como el cociente entre la energía total demandada por la instalación y la energía que se hubiese demandado si durante todo el periodo se demanda la potencia máxima. Ec (6).

$$Fc = \frac{E_D}{P_{MA}\tau} = \frac{P_M\tau}{P_{MA}\tau} = \frac{P_{MA}\tau_A + P_{MIN}(\tau - \tau_A)}{P_{MA}\tau} \quad (6)$$

Reemplazando la definición de relación temporal se puede obtener la relación entre la misma y el factor de carga. Ec (7).

$$Fc = R\tau - R\tau\frac{P_{MIN}}{P_{MA}} + \frac{P_{MIN}}{P_{MA}} \quad (7)$$

Sacando factor común Rτ entre los dos primeros términos del segundo miembro. Ec. (8). O sacando factor común el cociente de las potencias. Ec (9).

$$Fc = R\tau\left(1 - \frac{P_{MIN}}{P_{MA}}\right) + \frac{P_{MIN}}{P_{MA}} \quad (8)$$

$$Fc = R\tau + (1 - R\tau)\frac{P_{MIN}}{P_{MA}} \quad (9)$$

Las Ec. (5 y 9) constituyen un sistema de dos Ecuaciones con cinco variables (P_{MA}, P_{MIN}, P_M, Fc y $R\tau$) que permiten caracterizar la demanda, y que tiene tres grados de libertad. Aquí se pueden presentar dos situaciones, una instalación real que se está caracterizando y de la cual en función de las potencias mínima, máxima y media se calcula el $R\tau$ y el Fc para intervalos de tiempo establecidos y la otra el diseño de una instalación en la que se estima una demanda de potencia media, se adoptan los valores de $R\tau$ y Fc de instalaciones similares y se calculan en función de esto las potencias máximas y mínimas.

Para simplificar se supone que durante el periodo de tiempo arbitrario τ, la potencia generada por la planta fotovoltaica permanece constante en un valor igual a su valor medio P_G. En la figura 3 se muestran la potencia demandada por la instalación representada por la potencia máxima y la mínima, la potencia media demandada y la potencia generada por la planta fotovoltaica. Para este caso se observan 3 áreas sombradas que representan en rojo a la energía consumida desde la red E_R, en verde a la energía generada autoconsumida, E_{GC}, y en celeste a la energía inyectada a la red, E_I.

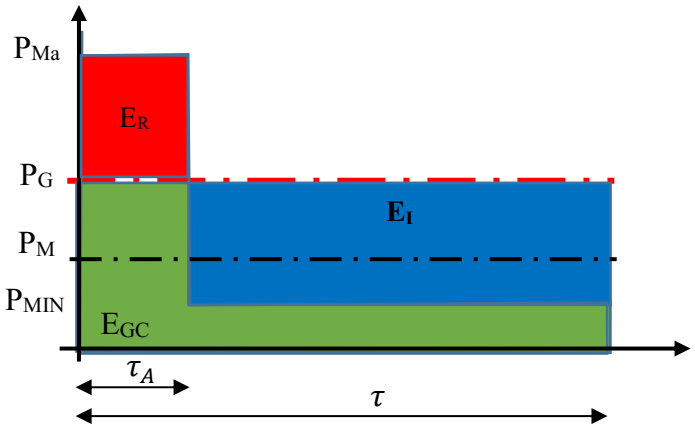


Figura 3: Energías consumida, inyectada y generada autoconsumida

La energía consumida por la instalación, E_D, será la suma de la energía generada por la planta fotovoltaica consumida por la carga propia E_{GC}, más la energía consumida durante los picos desde la red externa E_R. Ec. (10). Por otra parte, la energía generada por la planta fotovoltaica E_G, incluirá E_{GC} y la energía inyectada a la red en los periodos de valle E_I. Ec. (11).

$$E_D = E_{GC} + E_R \tag{10}$$

$$E_G = E_{GC} + E_I \tag{11}$$

Combinando las dos Ecs. (10 y 11) se puede obtener la energía inyectada a la red. Ec. (12).

$$E_I = E_G - E_D + E_R \tag{12}$$

Remplazando las energías en función de las potencias y los tiempos, e introduciendo la relación temporal, se obtiene la energía inyectada en función del periodo de tiempo base, la potencia generada por la planta fotovoltaica, la potencia media y máxima demandada por las cargas. Ec. (13)

$$E_I = P_G\tau - P_M\tau + (P_{MA} - P_G)\tau_A \tag{13}$$

Sacando factor común τ e introduciendo la relación temporal se obtiene. Ec. (14)

$$E_I = \tau(P_G - P_M + (P_{MA} - P_G)R\tau) \tag{14}$$

Operando en forma análoga se puede obtener la energía consumida desde la red. Ec. (15)

$$E_R = \tau(P_M - P_{MIN} - (P_G - P_{MIN})R\tau) \tag{15}$$

Dividiendo la Ec (15) por τ para obtener la potencia media consumida y se reorganizan los términos para aislar las potencias, Ec (16).

$$P_R = \frac{E_R}{\tau} = P_M - P_{MIN} - (P_G - P_{MIN})R\tau = P_M - P_G R\tau - P_{MIN}(1 - R\tau) \tag{16}$$

Se busca expresar la potencia mínima en función de las variables conocidas. A partir de la definición del factor de carga y de la Ec (9), se despeja el término correspondiente a la potencia mínima, obteniendo la Ec (17).

$$P_{MIN}(1 - R\tau) = P_{MA}(Fc - R\tau) = \frac{P_M}{Fc}(Fc - R\tau) = P_M\left(1 - \frac{R\tau}{Fc}\right) \tag{17}$$

Para simplificar el análisis se puede establecer una relación de generación solar, Ec. (18). Que luego sustituyendo la Ec. (17) en la Ec. (16) y junto con la Ec. (18), obtenemos, Ec. (19).

$$R_G = \frac{P_G}{P_M} \tag{18}$$

$$P_R = \frac{E_R}{\tau} = P_M R\tau \left(\frac{1}{Fc} - R_G\right) \tag{19}$$

Sustituyendo las definiciones de la relación de generación y el factor de carga en la fórmula base de la potencia inyectada, y operando algebraicamente, se obtiene la potencia media inyectada a la red, Ec. (20).

$$P_I = \frac{E_I}{\tau} = P_M \left(R_G(1 - R\tau) - 1 + \frac{R\tau}{Fc}\right) \tag{20}$$

Las Ecs. (19 y 20) permiten calcular, en función de tres factores característicos de la instalación y de la potencia media, los valores de energía inyectada y consumida desde la red. A su vez, las Ecs. (14,15) coinciden con la interpretación geométrica de la Figura 3, ya que ambas expresiones representan áreas rectangulares delimitadas por la potencia la generada y demandada en el período de registro considerado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se parte desde las planillas que contienen las variables medidas por el inversor de la planta fotovoltaica (Growatt) y por el medidor inteligente (Powermeter) de la instalación residencial donde se consumirá la energía que fueron procesadas de acuerdo con lo descripto en el apartado anterior. Mediante el medidor de potencia se obtiene la potencia RMS cada 3 minutos demandada por la instalación, P_{Di} a lo largo de todo el mes bajo análisis, lo que significan más de 14 mil conjuntos de lecturas.

Mediante el datalogger incorporado en el inversor de la planta solar se registran en la nube todos los parámetros eléctricos relevantes, entre ellos la potencia generada en corriente alterna, P_{Gi}, con la misma frecuencia que para la demanda. En la figura siguiente se representan la potencia generada por la planta solar, la demandada para el accionamiento de la instalación y la temperatura ambiente obtenida desde la estación meteorológica del aeropuerto de Resistencia dependiente del Servicio Meteorológico Nacional, para las horas diurnas de un día hábil. Se observa que en este caso hay una demanda baja durante el periodo matutino y que se trata de un día soleado y muy caluroso. Se evidencia picos de consumo de 1500W ocasionados por la conexión de la resistencia del termotanque para ACS (Agua Caliente Sanitaria). Durante la mañana se observa una demanda de base de aproximadamente 300W.

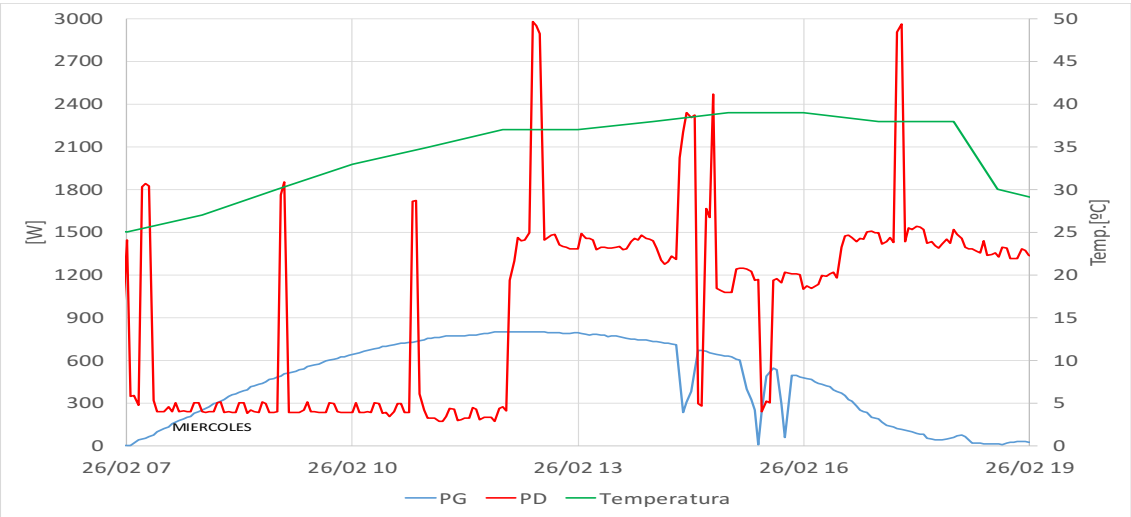


Figura 4: Perfil típico de generación, demanda y temperatura para un día de febrero

Se decidió efectuar análisis mensuales subdividiendo el día en cinco rangos horarios diferentes, identificados en la figura 5 con diversos colores: uno nocturno desde las 19:00 hasta las 7:00 del día siguiente (Negro); dos matutinos de 3 hs cada uno, desde las 7:00 a las 10:00 (Rojo) y desde las 10:00 a las 13:00 (Verde); y dos vespertinos, desde las 13:00 a las 16:00 (Azul) y desde las 16:00 a las 19:00 (Amarillo). De esta forma se calcularán a partir de los datos experimentales cinco conjuntos de relaciones adimensionales características para cada mes bajo análisis.

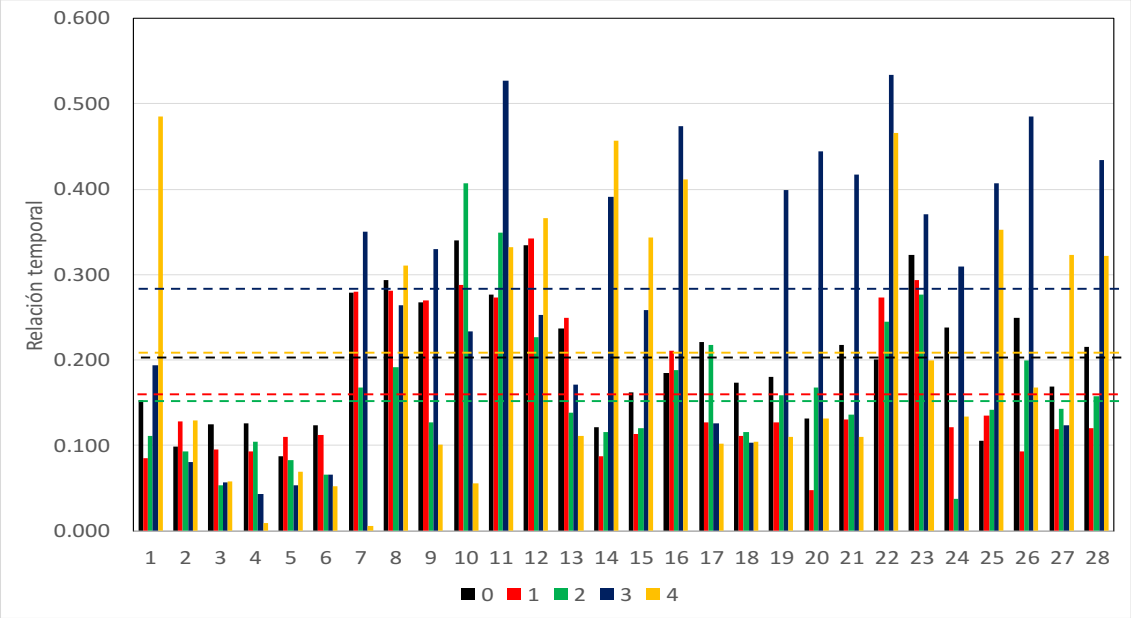


Figura 5: Relaciones temporales para cada uno de los 5 rangos horarios para los días de febrero y en líneas de trazo, valores medios para cada periodo.

En particular, por ejemplo, para el mes de febrero resultaron 28 grupos de rangos horarios de cada tipo, para cada rango horario se detectaron los valores de potencia demandada máxima y mínima (P_{MA}, P_{MIN}) y se calculó la potencia demandada media P_M por cada de rango horario de cada día. Con estos datos se calcularon las relaciones adimensionales $R\tau$, F_C y R_G con las Ecs (5, 9 y 18) obteniéndose cinco conjuntos de relaciones adimensionales para cada día del mes. A modo de ejemplo en la figura anterior se representaron los valores de la relación temporal para los cinco rangos horarios de los 28 días del mes de febrero, se superpuso además en el gráfico los valores medios mensuales para cada rango horario calculados según la Ec (21).

Para designar a las diferentes relaciones se utilizarán dos subíndices, v para el rango horario, variando de 0 a 4 y d para el día del mes. Por ejemplo, $F_{Cv,d}$ en general para el factor de carga y en particular para el periodo desde las 16 a las 19 hs del 15 de febrero el factor de carga que se designará como $F_{C4,15}$. Análogamente se calculó $R\tau_{v,d}$ y $R_{Gv,d}$. Posteriormente se obtiene los valores medios mensuales para cada relación adimensional. Ecs (21 y 22).

$$R\tau_v = \frac{1}{28}\sum_{d=1}^{28} R\tau_{v,d} \tag{21}$$

$$F_{Cv} = \frac{1}{28}\sum_{d=1}^{28} F_{Cv,d} \tag{22}$$

Se calculó R_{Gv} para cada rango horario, v, como el cociente entre la energía generada y la energía demandada por las cargas durante el mes, Ec (23).

$$R_{Gv} = \frac{\sum_{d=1}^{28} E_{Gv,d}}{\sum_{d=1}^{28} E_{Dv,d}} \tag{23}$$

En la tabla 1 se observan los valores medios de las relaciones adimensionales características obtenidos para los cinco rangos horarios del mes de febrero.

Tabla 1: Relaciones adimensionales características para el mes de febrero

Designación	Rangos horarios	Factor de carga	Relación temporal	Relación de generación
0	19-7hs	0.236	0.201	0.001
1	7-10hs	0.217	0.169	0.635
2	10-13hs	0.208	0.162	1.301
3	13-16hs	0.358	0.282	0.488
4	16-19hs	0.288	0.208	0.173

En la figura 6 se presentan los promedios de cada relación adimensional en cada rango horario para el mes de febrero.

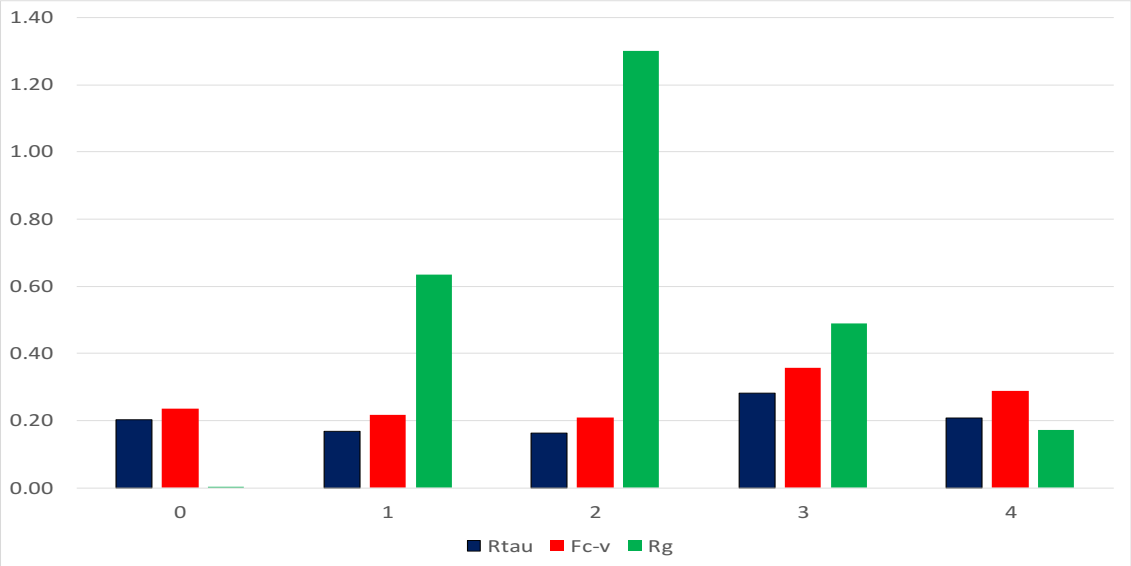


Figura 6: Relaciones características adimensionales medias para cada rango horario durante febrero

La figura 7 representa los valores para el mes de marzo (17 días).

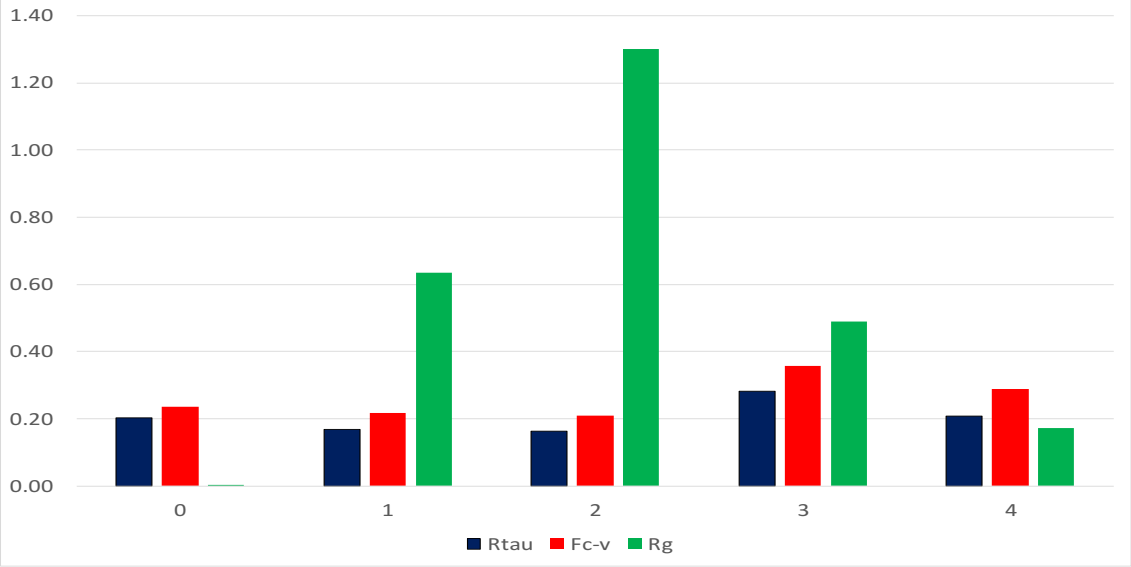


Figura 7: Relaciones características adimensionales medias para cada rango horario durante marzo

Como se toman lecturas cada tres minutos, se tienen 20 lecturas por hora y 60 lecturas por periodo diurno de 3 hs, entonces la energía demandada durante un periodo *v* para un día *d*, estará dado por la (24). Y la energía demandada media diaria para el periodo v estará dada por la (25).

$$E_{Dv,d} = 180s \sum_{i=1}^{60} P_{Dv,d,i} \quad (24)$$

$$E_{Dv} = \frac{1}{28} \sum_{d=1}^{28} E_{Dv,d} \quad (25)$$

En las figuras 8 y 9 se representa la potencia discretizada en máxima o punta y mínima o valle, la potencia media demandada y la potencia generada por la planta solar. Además, se esquematiza el balance de energías a lo largo del periodo de 7:00 a 10:00 y de 13:00 a 16:00, respectivamente, de febrero. En ambos casos se observa que la potencia media demandada es muy superior a la potencia media generada y no obstante se inyecta a la red una cantidad de energía de aproximadamente 0,5 kWh por día por cada periodo, lo que constituye una porción relevante para una planta solar pequeña como la analizada.

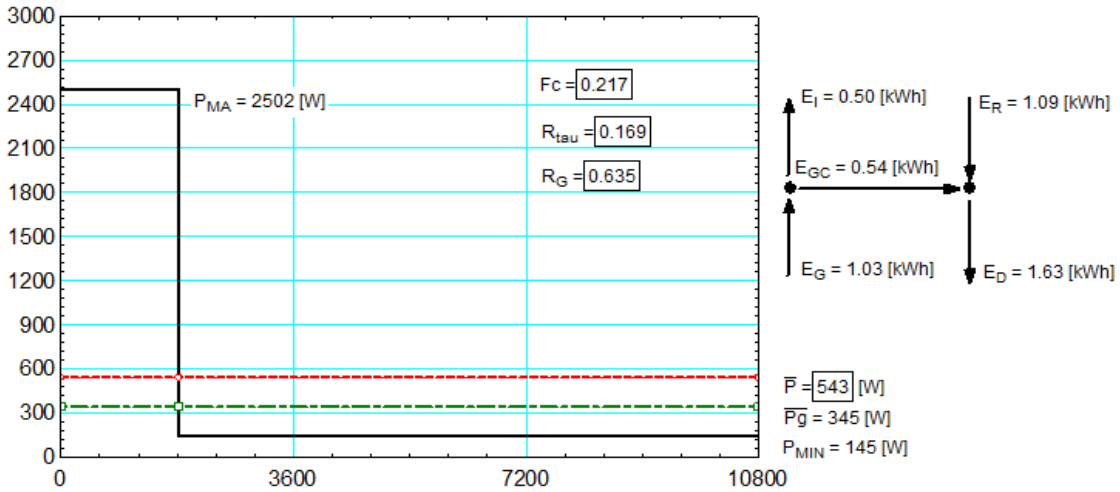


Figura 8: Potencias y energías medias para el rango horario de 7 a 10hs de febrero

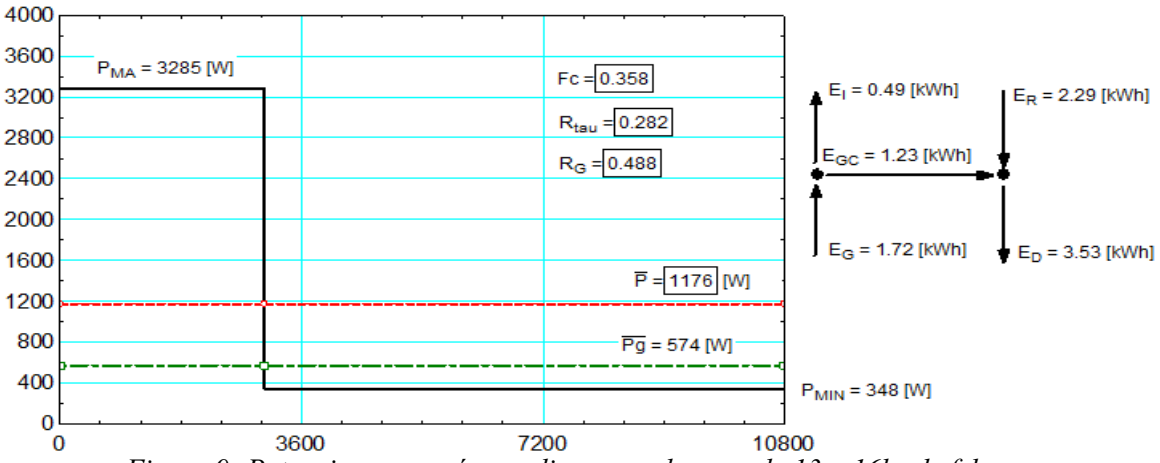


Figura 9: Potencias y energías medias para el rango de 13 a 16hs de febrero

Analizando las relaciones de cargas obtenidas se observa que durante el periodo vespertino se mantiene un valor, alto, de aproximadamente el 32%, esto es que la energía consumida es el 32% de la que se consumiría si se mantiene una potencia constante igual a la máxima. Durante el resto del día la relación de cargas se mantiene en aproximadamente en torno al 22%, lo que indica una mayor amplitud en las oscilaciones de carga, ya que un pulso estrecho corresponde a una relación de cargas tendiendo a cero y una potencia constante a una relación de cargas tendiente a la unidad. Con respecto a la relación temporal se observa que el rango horario de la siesta exhibe el valor más elevado, 28%, mientras que el resto del día se mantiene en aproximadamente el 18%, la relación temporal puede variar entre cero y la relación de cargas, si la relación temporal tiende a cero, la potencia mínima tiende a la potencia media mientras que si la relación temporal tiende a la relación de cargas la potencia mínima tiende a cero. En otras palabras, durante la siesta el 18% del tiempo se demanda la potencia máxima y durante el resto del día el 28% del tiempo. Para el mes de febrero la demanda de las cargas fue de 544 kWh mientras que la generación alcanzó a 149 kWh de los cuales 67kWh se inyectaron a la red mientras que se consumieron

461 kWh, se evidencia el contraste con un análisis grosero en el que se podría haber estimado que se consumirían desde la red pública nada más que la diferencia es decir 544 kWh-149 kWh = 396 kWh.

En base a la potencia demandada por las cargas y a la generada por la planta solar se puede determinar si se consume energía desde la red o si se inyecta energía a la red. Se calculó para cada periodo de registro la energía intercambiada con la red y se la discriminó en energía consumida y energía inyectada, se sumaron todas estas energías a lo largo de todo el mes y se calculó el promedio diario. La energía media diaria consumida desde la red ascendió a 16,2 kWh y la inyectada 2,19 kWh. Utilizando los factores adimensionales y la potencia media demandada por las cargas para cada rango horario se calculó utilizando las Ecs. (19 y 20) que la energía media diaria consumida desde la red se estima en 16,5 kWh y la inyectada 2,39 kWh. Comparando los valores estimados por cálculo con los valores medidos en febrero se observa una discrepancia del 1,3% para la energía consumida y de 8,6% para la energía inyectada a la red y en promedio durante los primeros 4 meses analizados inferior al 5% y al 10% respectivamente.

CONCLUSIONES

El método propuesto permite caracterizar de manera sencilla el comportamiento energético de un SFV residencial a partir de un número reducido de parámetros adimensionales, lo que facilita estimaciones de energía consumida e inyectada sin necesidad de series de datos de alta resolución. Los resultados obtenidos en una vivienda de Resistencia (Argentina) durante un mes de alta demanda muestran que, aun con este enfoque simplificado, las estimaciones guardan buena concordancia con los valores medidos.

Más allá de este caso de estudio, la metodología se presenta como una herramienta práctica para el diseño y análisis preliminar de instalaciones fotovoltaicas, con potencial de aplicación en diferentes contextos. En futuras investigaciones resultará valioso ampliar el horizonte temporal de análisis, incorporar distintos períodos del año y evaluar cómo factores como la orientación del generador o la variación estacional de la radiación influyen en los indicadores. De este modo será posible consolidar la utilidad del método y compararlo con enfoques convencionales de manera más amplia.

REFERENCIAS

Amabile, L., Bresch-Pietri, D., El Hajje, G., Labbé, S. y Petit, N. (2020). An optimization methodology for self-consumption of residential photovoltaic energy. *IFAC-PapersOnLine*, *53-2*, 88-93. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.145

Amiryar, M. E. y Pullen, K. R. (2017). A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies and Their Applications. *Applied Sciences*, *7*(3), Art. 286. https://doi.org/10.3390/app7030286

Castro, D. R. (2022). *Energia solar térmica e fotovoltaica em residências: Estudo comparativo em diversas localidades do Brasil* [Tesis de licenciatura, Universidad de Coimbra]. Biblioteca Digital da Universidade de Coimbra. https://baes.uc.pt/handle/10316/109981

Comisión Nacional de Energía. (2024). *Informe de valorización de excedentes Ley 20.571 – Primer semestre 2024*. Santiago, Chile. https://www.cne.cl/nuestros-datos/precios-de-excedentes/

Eltawil, M. A. y Zhao, Z. (2010). Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(1), 112–129. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.015

Garre, A. (2018). *Análisis técnico y económico del impacto de las instalaciones de autoconsumo en las redes eléctricas: aplicación a la generación fotovoltaica integrada con recursos energéticos distribuidos* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cartagena].

GlobalPetrolPrices.com. (2024). *Electricity prices around the world, June 2024*. https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/

Li, X., Anvari, B., Palazzolo, A., Wang, Z., y Toliyat, H. (2018). A Utility Scale Flywheel Energy Storage System with a Shaft-less, Hubless, High Strength Steel Rotor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *65*(8), 6667-6675. https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2772205

Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., y Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy*, *142*, 80–94. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028

Mubarak, M. y Vassileva, I. (2019). Evaluation of photovoltaic and battery storage effects on the load matching indicators based on real monitored data. *Energies*, *12*(8), 1934. https://doi.org/10.3390/en12081934

Presidência da República (Brasil). (2022). *Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2021-2022/2022/lei/L14300.htm

SEChEEP. (2021). *Cuadro tarifario residencial vigente – Resolución 788/21*. Servicio Energético del Chaco. https://www.secheep.gob.ar/wp-content/uploads/2021/07/SECHEEP-cuadro-tarifario-RESIDENCIAL-RESIDENCIAL-RURAL-COMERCIAL-RESOLUCION-788-21.pdf

UDEA. (2025). *Informe Sectorial Energía – Enero 2025*. Unidad de Desarrollo Energético Argentino. https://www.udea.org.ar/newsroom/archivosinformes/Informe%20Sectorial%20Enero%202025.pdf

UTE – Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas. (s. f.). *Generación solar – Balance neto*. https://www.ute.com.uy/institucional/energias-renovables/generacion-solar

Weitemeyer, S. y Agert, C. (2014). Integration of renewable energy sources in future power systems: The role of storage. *Renewable Energy*, *63*, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.038

Yong, L., Hailu, G., Xu, Y., y Zhang, W. (2021). Thermal energy storage systems in buildings: A state-of-the-art review. *Applied Energy*, *285*, 117600. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117600

METHOD FOR EVALUATING THE ENERGY INJECTED AND CONSUMED FROM THE GRID IN RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION SYSTEMS IN NORTHEASTERN ARGENTINA

ABSTRACT: This work presents a methodology to characterize the energy behavior of a residential installation with distributed photovoltaic generation using three dimensionless parameters: temporal ratio, load factor, and generation ratio. The objective is to quantify the interaction between the energy demanded by household loads, the energy consumed from the grid, the energy generated by the solar plant, and the energy injected as surplus. The methodology was applied to a single-family home located in Resistencia, Argentina, using power measurements recorded every three minutes over a month with high thermal demand. The data were processed to obtain representative hourly profiles, and the proposed indicators were calculated. From these, the daily energy exchange with the grid was estimated. The results show that it is possible to accurately predict both the energy injected into and consumed from the grid using only average values and the dimensionless parameters. The proposed method enables the evaluation of the energy and economic efficiency of the installation and is proposed as a useful tool for the design and analysis of residential systems with photovoltaic generation.

Keywords: Distributed generation, Energy self-consumption, Injected energy, Residential photovoltaic systems.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 98-110 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

EL EMPLEO DE LA SUPERFICIE TECHADA PARA LA PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA. UNA REVISIÓN COMPARATIVA DE MÉTODOS, ESTRATEGIAS Y ENFOQUES

Rodrigo J. Durán[1,2], Mauro Montone[1], Danae A. Franco Lopera[1], Miguel A. Condorí[1,2]
[1]Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Av. Bolivia 5150, Salta, Argentina, 4400.
[2]Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta (UNSa).
e-mail: duran.cayon@gmail.com

RESUMEN: El presente trabajo tiene como objetivo el análisis sistemático de los enfoques metodológicos empleados en la literatura científica para evaluar el potencial, factibilidad e impactos de la producción de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos en techos. La revisión bibliográfica fue realizada a partir de la aplicación de un método mixto: en primer lugar, un análisis descriptivo de los resultados de búsquedas en Web of Science, Scopus y Lens y su posterior procesamiento mediante CiteSpace y Lens.org. En segundo lugar, un análisis cualitativo de 60 artículos escogidos a partir de su centralidad respecto a números de citas y en función de los resultados del análisis descriptivo. Este análisis se realizó según seis dimensiones: escala geográfica de abordaje, métodos de homogenización de datos, consideración de supuestos político-filosóficos, inclusión de efectos de sombreado y modelado 3D, explicitación de modelos de radiación, y evaluación de aspectos ambientales, sociales y económicos. El análisis evidencia la necesidad de mayor integración metodológica que considere simultáneamente aspectos técnicos, ambientales, sociales y político-económicos para una evaluación integral del potencial fotovoltaico en techos como componente de la transición energética sostenible.

Palabras clave: Producción fotovoltaica, techos, superficie cubierta, revisión de bibliografía, transición energética

INTRODUCCIÓN

El aumento en la incorporación de tecnología fotovoltaica para la producción eléctrica ha impulsado un negocio estimado en 400 miles de millones de dólares a nivel mundial para año 2023 (IEA 2024). Así, en los últimos años este mercado viene presentando un crecimiento continuo, con un aumento exponencial de la capacidad instalada y capacidad de producción desde el año 2010 a la fecha, llegando a ser, esta última, aproximadamente 1100 GW para finales del año 2023 (IEA 2024). El enorme crecimiento del mercado fotovoltaico se ve acompañado de una gran concentración en muy pocos actores, el top 5 de capacidad acumulada total presenta a China 1048.5 GW (46,7% del total), Unión Europea 339.4 GW (15.1%), Estados Unidos 224.1 GW (10%), India 124.6 GW (5.5%) Alemania 99.8 GW (4.4% del total y 24.9% de Unión Europea).

La fuerte concentración del mercado fotovoltaico mundial presenta diferentes explicaciones. Por un lado, la acción de las economías de escala en China, que viene desarrollando en los últimos 20 años su capacidad industrial masiva, fuertemente subsidiada por el Estado y que actualmente produce más del 80% de los módulos Foto Voltaicos (FV) a nivel global, con costos unitarios reducidos respecto a otros productores. Por otro lado, el precio de los módulos ha caído profundamente en la última década, a lo que contribuye la fuerte presencia del mercado chino, como también los avances tecnológicos en la producción de celdas FV comerciales más eficientes. En tercer lugar, el agravamiento del cambio climático y la incorporación de la agenda 2030 implicó la definición de medidas fiscales de fomento

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

para la incorporación de tecnología FV en la producción eléctrica. Estos aspectos, sostenidos en la fragmentación geopolítica y dependencia tecnológica contribuyen a la concentración del mercado FV con una fuerte presencia China, que supo planificar y controlar la cadena de suministros para la producción FV, resultando en un síntoma más de los efectos del capitalismo de escalas aplicados a la transición energética, en la que las dinámicas de mercado reproducen asimetrías globales en el acceso y control de tecnologías clave (Merrit 2024).

En este contexto, los aspectos relacionados al crecimiento acelerado de las zonas urbanas, su población, industrias y los efectos ambientales de las prácticas de producción y consumo a nivel mundial presentan desafíos para la gestión de la sostenibilidad del sistema energético y sus impactos sobre la vida en el sistema global. Un aspecto que no resulta menor corresponde a la gestión de la producción y distribución de la energía, en el marco de los sistemas integrados de gran escala, que propicie la sustentabilidad del crecimiento mundial. Más allá de la evidente necesidad de suministro energético debido al crecimiento poblacional y de las economías nacionales y sus impactos ambientales, resulta necesario debatir el actual paradigma de producción y distribución centralizada de la energía, en pos de su descentralización, democratización y sustentabilidad.

En este sentido, el aprovechamiento de la superficie techada como soporte para la generación eléctrica fotovoltaica permite poner en tensión el actual paradigma de generación y distribución centralizada de la energía, históricamente manejado por pocos actores transnacionales. Esto posibilita la emergencia de una nueva forma de acceso y gestión de la energía, orientada a comunidades locales energéticamente sustentables, con capacidad de autogestión de su producción y demanda y con poder de decisión efectivo sobre sus recursos energéticos. En este marco se reconoce una oportunidad para potenciar la transición hacia fuentes renovables, que no solo promueven la sostenibilidad técnica, sino también una distribución más equitativa y justa del acceso a la energía.

Así, considerando los avances en la normativa Argentina, cabe destacar la sanción de la Ley 27.424/17 y su reglamentación mediante el Decreto 986/2018, donde se establece el Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública, habilitando a usuarios residenciales, comerciales e institucionales a convertirse en generadores eléctricos mediante fuentes renovables, con posibilidad de inyectar excedentes a la red y recibir compensaciones económicas. Esta normativa, a la que ya han adherido más de 15 provincias, representa un cambio estructural en el modelo energético argentino, al promover la descentralización de la generación y el empoderamiento de actores locales. En este marco, la superficie techada urbana —especialmente en ciudades como Buenos Aires, Córdoba y Rosario— constituye un recurso estratégico para la expansión de la generación FV distribuida. Argumentos como los presentados por Videla et al. (2023), que destacan la conveniencia de la generación distribuida ante la fuerte concentración de demanda eléctrica en centros urbanos, señalan un cambio positivo en términos de eficiencia del sistema y reducción en el uso de combustibles fósiles.

Ahora bien, este debate no puede agotarse en sus dimensiones técnicas o económicas. La transición energética también plantea dilemas éticos y políticos. Si bien algunos estudios técnicos reconocen la existencia de estos dilemas, rara vez se los aborda de manera sistemática ni se los vincula con los marcos de justicia energética. Esta última, entendida como un campo emergente que vincula la filosofía moral con la política energética, se presenta como clave para discutir la equidad en el acceso, la participación comunitaria en la gestión de recursos y la distribución justa de beneficios y cargas en la transición hacia energías renovables (Jenkins et al., 2016; Sovacool y Dworkin, 2015).

En este sentido, la bibliografía especializada en justicia energética ofrece un marco teórico de referencia que complementa el análisis técnico y normativo. Así, por ejemplo, en Sovacool y Dworkin (2015) se plantea la justicia energética como “un sistema energético global que distribuya de manera justa tanto los beneficios como los costos de los servicios energéticos, y que tenga una toma de decisiones representativa e imparcial”. Asimismo, McCauley et al. (2013) amplían este marco con cuatro dimensiones: (i) justicia distributiva (cómo se asignan recursos, costos y beneficios entre los actores); (ii) justicia de reconocimiento (cómo y dónde surgen desigualdades en el sistema energético); (iii) justicia procedimental (derecho a participar significativamente en decisiones energéticas); y (iv) justicia

cosmopolita (aplicación de estos principios a todos los seres humanos en todas las naciones). Variaciones de esta perspectiva —fundamentalmente rawlsiana— constituyen la principal vía de análisis normativo en la literatura reciente sobre transición energética hacia fuentes renovables.

Ya sea como parte de un planteo relacionado a la cuestión de la justicia energética o no, en los últimos años se vienen presentando diversos enfoques y metodologías para el análisis de factibilidad del empleo de la superficie techada para la generación eléctrica, considerando condiciones tales como orientación, inclinación, sombreado, eficiencia del sistema FV y condiciones climáticas locales. Asimismo, la integración arquitectónica de los sistemas FV plantea desafíos en términos de diseño y planificación urbana. En este trabajo se propone una revisión comparativa de métodos, estrategias y enfoques para el empleo de la superficie techada en la producción eléctrica, con el objetivo de identificar criterios que permitan potenciar su implementación en contextos como el argentino.

METODOLOGIA

Se abordó el análisis bibliográfico a partir de la aplicación de un método mixto, que consistió, por un lado, en el análisis cuantitativo de las citas bibliográficas en función de búsquedas en Web of Science (https://www.webofscience.com), Scopus (https://www.scopus.com/) y Lens (https://www.lens.org/), a partir de la aplicación de CiteSpace, un software diseñado por Chen (2005) y lens.org. Lens.org es un motor de búsqueda académico de acceso abierto que integra literatura científica, patentes y datos de investigación provenientes de fuentes como CrossRef, PubMed, Microsoft Academic y CORE, permite realizar búsquedas avanzadas y aplicar filtros para tipo de documento, disciplina, y año de publicación, lo que lo convierte en una herramienta eficaz para estudios bibliográficos en ciencia. Además, permite la realización de análisis visuales de redes de citación y métricas de impacto, lo que facilita el análisis comparativo de la producción científica en diversas áreas del conocimiento.

Las búsquedas se realizaron en tres motores diferentes: Scopus, Web of Science y Lens, empleando la siguiente sintaxis de búsqueda (("city" OR "urban" OR "town" OR "metropolitan" OR "district") AND ("pv" OR "photovoltaic" OR "solar cell") AND ("sun" OR "solar") AND (“roof”)). Los resultados obtenidos fueron analizados gráficamente a partir de las herramientas disponibles en Lens y CiteSpace, permitiendo precisar la centralidad y frecuencia de temáticas, instituciones, autores, citaciones, país de pertenencia y cantidad de publicaciones.

Por otro lado, se hizo una revisión en profundidad de un corpus seleccionado de 60 artículos publicados entre los años 2010 y 2024, estos artículos fueron escogidos privilegiando aquellos que presentan una mayor cantidad de citas. A partir de las descripciones cuantitativas se abordó un estudio cualitativo de los artículos seleccionados integrando sus temáticas asociadas y métodos implicados, a partir de la definición de una matriz de comparación. Se prestó especial atención a estudios que integran criterios socio-territoriales y tecnológicos en la planificación de sistemas FV sobre superficie techada y artículos actuales que abordan la revisión del estado del arte de estos temas, entre los que destacamos los de Teofilo A. y Chayn Sun Q. (2023), Wilkinson S. et al (2022) y Konzen G. et al (2024).

Así, para guiar el análisis comparativo de los 60 artículos seleccionados, se elaboró una matriz de análisis, presentada en la Tabla 1. En ella se presentan ejes comparativos, formulados como preguntas, que permiten agrupar los trabajos abordados según sus encuadres y la justificación para el empleo de estos ejes.

Tabla 1. Matriz de análisis cualitativo de los artículos escogidos

Pregunta	Justificación
¿Qué escala geográfica mantiene en el abordaje?	La escala (local, regional, nacional, global) determina el nivel de resolución, aplicabilidad y relevancia del análisis. Evaluar la escala permite entender si el estudio es replicable y si considera heterogeneidades territoriales.
¿Se explicita el abordaje y método de homogenización de datos para las bases de datos empleadas en las estimaciones?	La integración de datos de distintas fuentes (Sistemas de Información Geográficos -GIS en inglés- meteorología,

	censos, etc.) requiere procesos de homogenización para garantizar consistencia y comparabilidad.
¿En el abordaje del problema se consideran sus supuestos e implicancias políticas, filosóficas en el marco de transición energética?	La transición energética no es solo técnica, sino también política y ética. Esta pregunta permite identificar si el estudio reconoce sus propios supuestos ideológicos, si aborda la justicia energética, y si propone modelos alternativos al paradigma centralizado
¿Se consideran efectos de sombreado y entorno 3D en la elaboración de modelo de producción?	El sombreado y la geometría urbana afectan directamente la eficiencia de los sistemas FV. Incluir estos factores en modelos tridimensionales mejora la precisión de las estimaciones.
¿Se elaboran o explicitan los modelos de radiación empleados para la estimación de producción FV?	Reconocer qué modelos se aplican tanto para la estimación de radiación como para la producción FV permite establecer comparaciones y analizar la adecuación según el espacio geográfico en el que se aplican estos modelos.
¿Se abordan aspectos ambientales, sociales y económicos en la evaluación de los impactos de la incorporación de FV en techos?	Permite evaluar si el estudio incluye externalidades, equidad territorial, inclusión energética y sostenibilidad integral. Abordando cuestiones propias a la factibilidad técnica y económica de la implementación de la producción fotovoltaica en la superficie techada.

RESULTADOS

Resultados del análisis cuantitativo

Los resultados del análisis cuantitativo nos brindan algunas pistas sobre el la evolución temporal del tratamiento del problema. Del total de 25.345 artículos identificados, se escogió aquellos que han sido publicados en revistas que mantienen una pertenencia explícita a las temáticas de energía, energías renovables, ingeniera en energías renovables, estudios urbanos y política energética. En la Figura 1 se presenta la cantidad de publicaciones en base anual, obtenido de Lens.

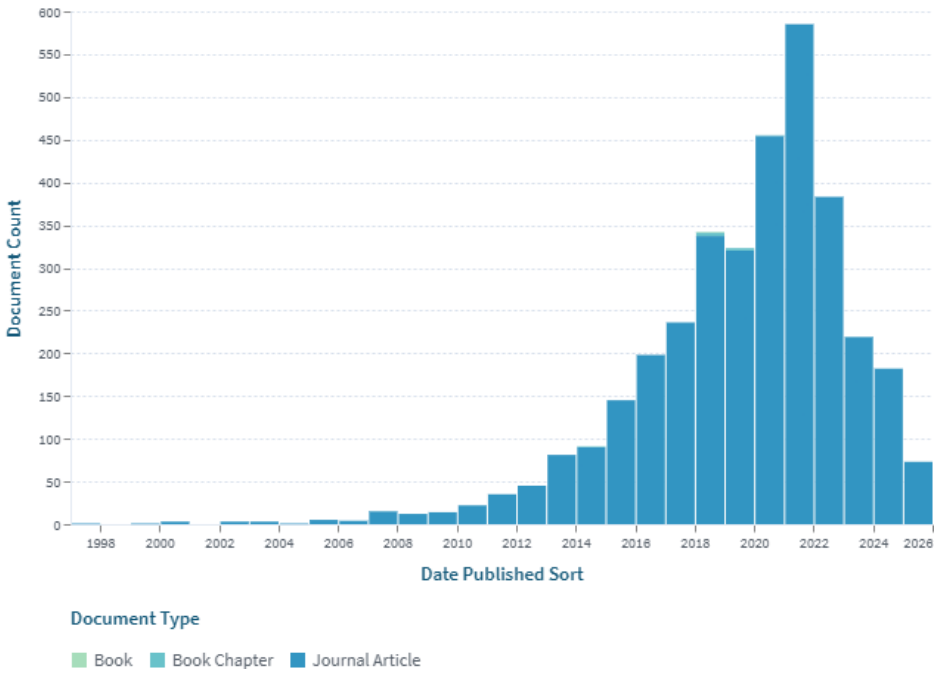


Figura 1: Número de publicaciones por año

Como se observa a partir del número de publicaciones por año, el tema viene manteniendo un crecimiento muy pronunciado en la agenda de investigación internacional. Desde el año 2010 hasta el 2022 mantiene un crecimiento prácticamente exponencial, siendo que en el 2010 el número de

publicaciones fue de 19 y en el año 2021 mayor a 590. La disminución aparente que se observa desde el año 2022 en adelante puede ser explicada a partir de la consideración de las demoras en la actualización de las bases de datos de Lens y en el tiempo de publicación para el periodo 2024 - 2025. Esta primera observación permite concluir que el tema es actual y de relevancia en la escena internacional. Respecto al lugar de procedencia de las instituciones a las que pertenecen los autores de los trabajos referidos, al igual que en otras áreas del conocimiento, el protagonismo se lo lleva Inglaterra (340 publicaciones), Estados Unidos (336), China (223), Australia (167), España (137). En la región de América del Sur, Brasil, Chile y Colombia son las que mantienen una mayor presencia en este tema.

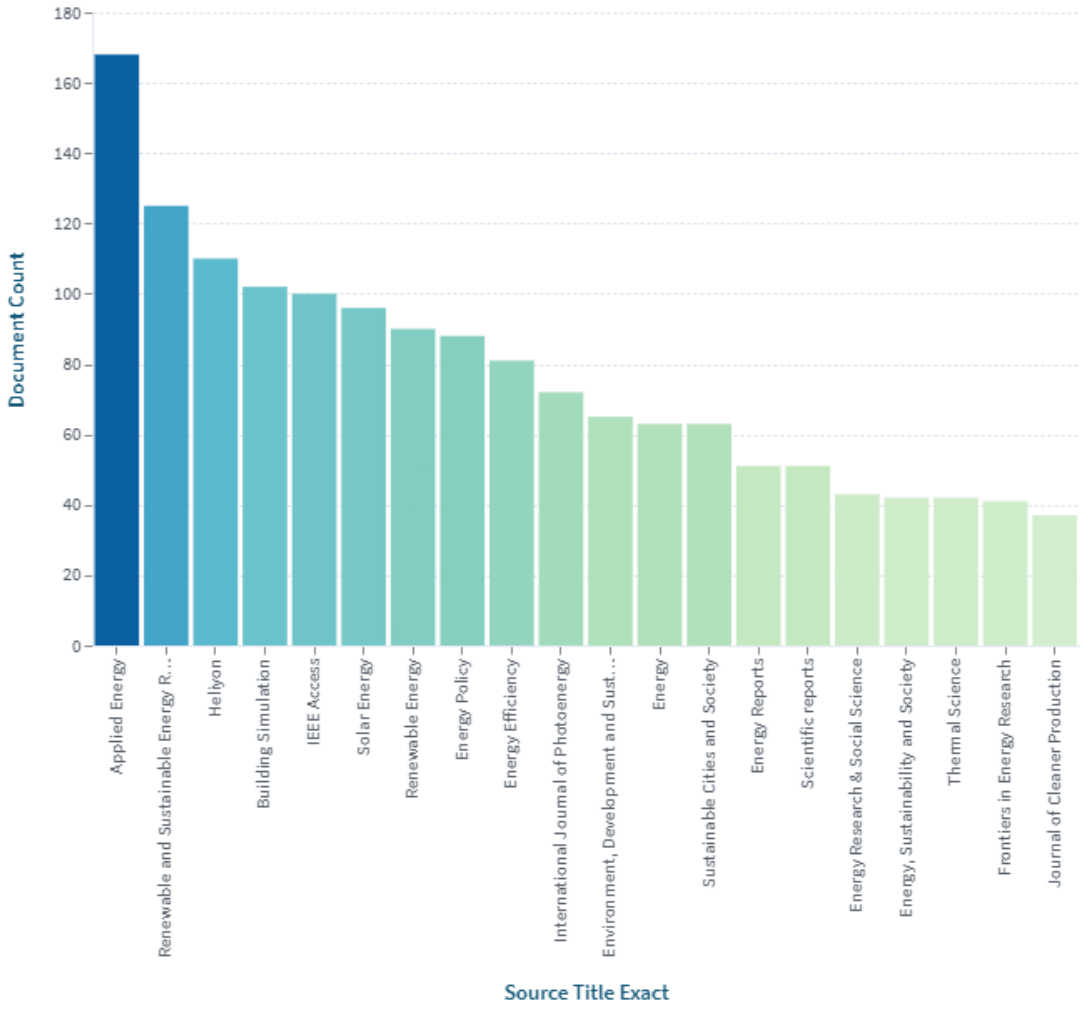


Figura 2: Número de publicaciones por revista

Por otro lado, la asociación de las palabras clave presentes en las publicaciones permite tanto la vinculación de los tópicos con otros no considerados directamente en la búsqueda, como también la presentación de algunos aspectos que hacen al encuadre temático que se le está brindando a las publicaciones referidas. Así, la mayor cantidad de trabajos refieren, en primer lugar, a tópicos asociados a las ciencias medioambientales, energías renovables, ingeniería y análisis de sistemas fotovoltaicos. Esto sugiere una mayor presencia del encuadre ingenieril en el análisis del problema, donde es planteado en términos de soluciones tecnológicas. En segundo lugar, cuando se incorporan las dimensiones sociales, el encuadre gira hacia temáticas cercanas a las ciencias económicas, abordando la cuestión de la transición energética mediante la ocupación de superficies cubiertas como una cuestión cercana a las finanzas, negocios, y la economía del medio ambiente. Desde la perspectiva de los estudios de Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS), tal encuadre reproduce una visión reduccionista del problema energético, en la que las soluciones se circunscriben al desarrollo y optimización de dispositivos fotovoltaicos, sin considerar que en la elaboración de artefactos tecnológicos las dimensiones sociales, políticas y culturales son mutuamente constituyentes, además que configuran su implementación. Esta mirada tecnocéntrica invisibiliza los procesos de co-producción entre tecnología y sociedad, y desatiende las

controversias, intereses y relaciones de poder que atraviesan las transiciones energéticas. Esta cuestión queda señalada en la figura 2, en donde se presentan las revistas que tienen un mayor número de publicaciones relacionadas, perteneciendo en su mayor proporción a ámbitos ingenieriles.

Resultados del análisis cualitativo: Análisis de los encuadres abordados en la bibliografía

1 - Escala geográfica de los abordajes

La cuestión de la escala geográfica en la evaluación del potencial fotovoltaico sobre superficies cubierta se encuadra en un marco amplio que incluye estudios globales, regionales y locales. Así, por ejemplo en una escala mundial, en Siddharth Joshi et al (2021) se realiza un análisis de alta resolución mediante técnicas de *big data* y *machine learning*, cubriendo 130 millones de km² de superficie terrestre y detectando 0,2 millones de km² con un potencial teórico de 27 PWh/año. Este enfoque permite estimar la capacidad agregada a escala planetaria, pero sacrifica el detalle local necesario para la implementación práctica en contextos específicos. Por su parte, Bodis et al. (2019) reducen la escala al territorio de la Unión Europea, ofreciendo mapas geoespaciales de potenciales nacionales y subnacionales, y evidencian cómo las estimaciones varían entre países e incluso entre regiones dentro de un mismo país.

En escalas intermedias y locales, la granularidad espacial y temporal cobra relevancia. Así, por ejemplo en López et al. (2012) se centra el análisis en España, evaluando el autoconsumo fotovoltaico a escala nacional y diferenciando períodos temporales variables; de esta manera presentan cómo la resolución temporal se entrelaza con la espacial para ajustar estimaciones de generación y demanda en distintas zonas geográficas. Castellanos et al. (2017) examinan la escalabilidad de los métodos desde un solo edificio hasta aglomeraciones urbanas, planteando que muchas técnicas no incluyen mecanismos robustos de agregación entre niveles y pueden sobreestimar el potencial real en áreas densamente construidas. Mainzer et al. (2014) completan este panorama con un estudio a escala nacional en Alemania, pero desagregado a nivel municipal, permitiendo planificar de manera más precisa la instalación de sistemas residenciales de techos fotovoltaicos en función de características topográficas y espaciales muy detalladas.

En general, la selección de la escala de análisis está definida en función de los métodos y técnicas implementados en los diferentes abordajes, que pueden ser divididos en los siguientes grupos:

1 – Métodos de bajo nivel, que emplean datos estadísticos agregados y que no miden directamente la variable que se desea analizar. En lugar de eso, recurren a indicadores sustitutos que funcionan como aproximaciones indirectas o *proxys*, por ejemplo, densidad de población como forma de estimar la cantidad de superficie. Sin embargo, estos métodos suelen asumir que las regiones tienen una configuración espacial similar o son homogéneas, por lo que mantienen estimaciones poco precisas (Gagnon, P et al (2016), Brownson, J et al 2015).

2 – Métodos de nivel intermedio, que combinan información estadística con información espacial. En general emplea Sistemas de Información Geográficos y el entrenamiento de redes neuronales para el reconocimiento de superficie techada. Esto permite una mayor precisión para la determinación del área construida al mismo tiempo que posibilita una mayor escala de aplicación (Bódis K, et al 2019, Borfecchia F et al 2014, Sander, L et al, 2024)

3 – Métodos de alto nivel, que emplean un procesamiento detallado de edificios, considerando el área construida, el número de pisos y modelos digitales de elevación. El análisis emplea datos de irradiación solar de alta resolución espacial y temporal. Por el requerimiento de capacidad de cómputo y tiempo asociado, estos análisis suelen ser de una escala local, como barrios o ciudades pequeñas. En general, las evaluaciones nacionales basadas en estos métodos suelen extrapolar datos locales elaborados a partir de tipologías o modelos, por ejemplo, definiendo un área promedio por vivienda para zonas. Esto implica un mayor error asociado a la variabilidad de las características constructivas y geográficas. Un ejemplo de esta aplicación es el informe publicado por NREL (2016) “Rooftop Solar Photovoltaic Technical Potential in the United States: A Detailed Assessment” los trabajos de Yildirim, D et al (2021) y Zhong, Q., y Tong, D. (2022).

2 – Consideración del método de homogenización de datos en los abordajes

El enfoque y los métodos de homogenización de datos se han convertido en un elemento indispensable a partir de la incorporación de nuevas fuentes de datos, tanto para la estimación de la superficie techada como también en la consideración de los aspectos ambientales en el diseño del sistema FV que se aplica, las características constructivas de las estructuras habitacionales y el recurso solar, sin contar con las fuentes de datos empleadas en el análisis de factibilidad y de los impactos ambientales, sociales y económicos. Estos aspectos presentan fuentes de datos muy diferentes que deben ser homogenizadas para garantizar la reproducibilidad y la comparabilidad de las estimaciones del potencial fotovoltaico sobre cubiertas. En su revisión de metodologías de modelado solar urbano, Freitas et al. (2015) destacan que la integración de fuentes heterogéneas —GIS, meteorología, censos y catastro— solo aporta valor si se describen con detalle los pasos de preprocesamiento, normalización y validación de datos. De manera análoga, Santos et al. (2014) subrayan que los estudios de mapeo solar deben documentar los criterios de unificación de proyecciones cartográficas y la armonización de series temporales, de modo que las distintas capas geoespaciales puedan combinarse sin introducir sesgos espaciales o temporales.

Entre los trabajos empíricos, Assouline et al. (2017) ofrecen un ejemplo riguroso de cómo detallar el proceso de homogenización en escenarios de grandes datos. Su modelo basado en *Random Forest* integra bases de datos GIS, meteorológicas y del censo, describiendo con precisión los algoritmos de limpieza de datos, los umbrales de imputación de valores faltantes y los métodos de escalado de variables. Por su parte, Bergamasco y Asinari (2011) proponen una metodología escalable para evaluar el potencial técnico de PV en techos residenciales, donde explicitan la unificación de datos catastrales (tipologías de cubiertas y alturas), las series climáticas horarias y la normalización de los planos de edificación, lo que permite pasar del nivel de parcela al nivel municipal con un buen nivel de precisión. Asimismo, el abordaje de Jakubiec y Reinhart (2013) emplea un método que fusiona datos LiDAR, GIS y simulaciones horarias con DAYSIM (Reinhart, C. F. 2005) con diferentes bases de datos de series temporales. En conjunto, estos estudios demuestran que la transparencia en la definición y ejecución de procesos de homogenización fortalece la confianza en los resultados y es clave para articular análisis técnicos con marcos de justicia energética, donde la equidad en el acceso a datos y la claridad metodológica son pilares para la toma de decisiones inclusivas.

3 – Consideración de las implicancias políticas y filosóficas en el marco de transición energética en los abordajes

En general, el enfoque de las publicaciones está fundamentado en el aplicacionismo tecnológico (Morozov, E. 2013), es decir, una concepción lineal y determinista que presenta a la tecnología como un instrumento neutro que se aplica mecánicamente para resolver problemas específicos, sin considerar sus dimensiones socio-técnicas y político-culturales (Dagnino, 2010). Así, en las publicaciones se advierte una clara tendencia a privilegiar la dimensión instrumental de las tecnologías energéticas por sobre el análisis de sus supuestos sociales, políticos y epistemológicos. Desde los estudios sociales de la ciencia, tecnología y sociedad, en América Latina se plantea el aplicacionismo tecnológico como una visión reduccionista que subordina la producción de conocimiento a la utilidad inmediata y a demandas externas asociadas a la competitividad o al mercado, invisibilizando los procesos de construcción social de las tecnologías y las disputas de poder que las configuran (Kreimer y Vessuri, 2018; Smith et al., 2017). De esta manera, en la literatura se han propuesto alternativas críticas al aplicacionismo —como la noción de tecnología social (Dagnino, 2010) o de innovaciones de base comunitaria (Smith et al., 2017)— que permiten repensar la transición energética no solo como un desafío técnico-económico, sino también como un proceso sociopolítico en el cual las comunidades desempeñan un rol central.

No obstante, si bien son menos en cantidad, hay publicaciones destacables que atienden la cuestión de la producción FV sobre áreas de techos, posicionándose explícitamente sobre la cuestión de la transición energética justa. De esta manera, en publicaciones como Becker et al. (2017) se plantea un análisis de los efectos que puede tener la incorporación de sistemas solares para la inclusión y empoderamiento de comunidades marginadas y, al mismo tiempo, reproducir dinámicas coloniales y neoliberales si no se cuestionan las estructuras de poder vigentes. Su enfoque mixto, que combina análisis de políticas con entrevistas cualitativas a actores locales, permite poner en cuestión el equilibrio normativo e interpretativo sobre quién detenta y gestiona la energía y los efectos que esto mantiene para el sistema social. Asimismo, en Korsnes et al. (2018) se cuestionan los supuestos filosóficos que sustentan la política renovable noruega, el rol del Estado, el mercado y la ciudadanía en la gobernanza energética.

En esta publicación se evidencia que, aunque la narrativa oficial subraya la sostenibilidad y el bienestar colectivo, prevalecen visiones tecnocráticas y de tecnoptimismo que conducen a instrumentos políticos centrados más en la eficiencia y el crecimiento económico que en la participación democrática. En un plano comparativo, Chernyakhovskiy et al. (2016) contrastan Alemania, Brasil y Estados Unidos para mostrar cómo las estructuras institucionales reflejan distintas lógicas políticas y filosóficas: la responsabilidad ecológica colectiva alemana, la orientación brasileña hacia la equidad social y el énfasis estadounidense en el libre mercado. A partir del análisis de las normas regulatorias y debates parlamentarios se revela que las diferencias en la asignación de recursos posibilitan la concentración de las aplicaciones fotovoltaicas residenciales en la población acomodada, lo que permite poner en cuestión el proceso de transición energética desde las categorías de justicia energética.

4 - Efectos de sombreado y entorno 3D en la elaboración de los modelos

La incorporación de efectos de sombreado y la representación del entorno en tres dimensiones ha demostrado ser fundamental para estimar con precisión el potencial fotovoltaico en contextos urbanos densos. Margolis et al. (2017) introducen un paquete para el lenguaje de programación R que modela tridimensionalmente las sombras proyectadas por edificios adyacentes. Por su parte, Tziritis et al. (2024) aplican un modelo de Ray-Tracing en Atenas, evidenciando que, sin considerar el sombreado complejo propio de pasajes y fachadas irregulares, las estimaciones de generación pueden sobrestimarse en más del 20%.

La extensión del análisis a fachadas y la integración de modelos digitales de superficie (DSM en su acrónimo en inglés) complementa la evaluación únicamente centrada en el área cubierta. Redweik et al. (2013) desarrollan un modelo 3D urbano que combina techos y fachadas, utilizando DSM para capturar sombras recíprocas y reflexiones solares en callejones urbanos. Como resultado, al sumar el potencial de las fachadas, la capacidad instalada municipal podría incrementarse en un 25% respecto al cálculo tradicional de solo techos. De manera similar, Huang et al. (2023) analizan el caso de la ciudad de Austin (EEUU), considerando el movimiento solar y obstáculos tridimensionales identifican edificios con alto potencial de generación, lo que permite el diseño de planes de gestión y distribución de la energía adaptados a las condiciones locales. En Li et al. (2023) se aplican modelos 3D al entorno rural, proponiendo un método que combina datos de construcción con análisis de sombreado entre edificaciones agrícolas. Su enfoque demuestra que, incluso en zonas de baja densidad, la consideración del entorno 3D —incluyendo silos, árboles y pequeños galpones— altera significativamente las estimaciones de potencial, reduciendo la brecha entre proyectos piloto y resultados operativos.

5 – Explicitación de los Modelos de radiación involucrados

Si bien no corresponde con el objetivo principal de los trabajos de estimación de potencial FV, el análisis de las bases de datos de recursos solares y sus modelos de estimación son considerados en algunas publicaciones. Entre ellos, en Ruiz-Arias et al. (2013) donde se presenta un enfoque multi-modelo que compara las bases de datos de CAMS, SARAH y MERRA para evaluar la variabilidad e incertidumbre del recurso solar. Cada modelo se describe con detalle, incluyendo sus principales algoritmos de atenuación atmosférica y procedimientos de interpolación espacial. El estudio demuestra que ensamblar resultados de múltiples fuentes reduce el error de predicción hasta en un 30 % frente al uso de un único producto, y subraya la importancia de articular la metodología de extracción y preprocesamiento de datos para garantizar reproducibilidad. No obstante, resulta necesario considerar esta cuestión mediante la homogenización de datos, cuestión que no es menor al trabajar con datos de diversas fuentes. En Antonanzas-Torres et al. (2013) se ofrece una revisión exhaustiva de métodos de pronóstico fotovoltaico, sistematizando los modelos de radiación más usados —Perez, Hay-Davies y Reindl— y su aplicabilidad según latitud, clima y resolución temporal. Cada esquema se expone junto a sus ecuaciones fundamentales y parámetros de ajuste, y se discuten sus ventajas en términos de sensibilidad a la nubosidad y la dispersión difusa. Esta síntesis facilita a los investigadores seleccionar el modelo más adecuado según el alcance geográfico y la escala temporal de su proyecto. Gueymard (2014) complementa este panorama al revisar metodologías de validación y los indicadores de desempeño para datos de radiación modelados. Analiza métricas como el índice de habilidad (IOA), el error cuadrático medio normalizado (nRMSE) y el sesgo medio, comparando más de diez productos comerciales y de acceso libre. Su trabajo subraya que la elección de indicadores y umbrales de aceptación es tan crítica

como la selección del propio modelo de radiación, pues define los criterios de calidad para aplicaciones tanto fotovoltaicas como térmicas.

6 – Consideración de aspectos ambientales, sociales y económicos en la evaluación de los impactos de la incorporación de FV en techos

Los estudios más recientes coinciden en que la incorporación de la FV en el ámbito residencial no es solo un problema técnico, sino también un desafío social y económico que reproduce o atenúa desigualdades preexistentes. En Simshauser (2022) se señala que las tarifas eléctricas planas pueden generar distorsiones de equidad, ya que quienes instalan sistemas FV reducen su factura a costa de un aumento marginal en el precio para los consumidores sin paneles, profundizando brechas socioeconómicas. En esa misma línea, Rai y Sigrin (2013) comparan los modelos de compra y arrendamiento de sistemas FV, mostrando que el *leasing* facilita la difusión en hogares de menores ingresos al eliminar la barrera del capital inicial, pero a la vez puede encarecer el costo nivelado de energía si no se regula adecuadamente. Borenstein (2017) complementa esta perspectiva cuantificando los beneficios netos privados de la FV residencial bajo distintos esquemas de tarifas, subsidios e incentivos fiscales, y advierte que, sin un diseño progresivo de incentivos, las rentas generadas por la energía excedentaria terminan concentrándose en estratos con capacidad de inversión, reproduciendo una injusticia energética.

Los efectos del diseño de los mecanismos de compensación son elaborados en Darghouth et al. (2016), donde se explora cómo el *net metering* y las retroalimentaciones de mercado pueden incentivar masivamente la adopción de FV, pero simultáneamente generar costos ocultos para los servicios de distribución y sesgar el precio real de la electricidad. Por otro lado, en Mills y Wiser (2013) se analiza la variación precio de la generación FV a altos niveles de penetración, mostrando que a medida que la cuota de FV crece, su valor marginal disminuye y se alteran los precios horarios, lo que exige mecanismos de tarificación dinámica y reconocimiento de externalidades ambientales, como la reducción de emisiones y la mitigación de picos de demanda. Asimismo, desde un marco CTS y de justicia energética, resulta imprescindible cuestionar los supuestos implícitos en el diseño tarifario y de incentivos, e incorporar la discusión pública respecto a la definición de esquemas de financiamiento y compensación.

CONCLUSIONES

La revisión comparativa de métodos, estrategias y enfoques para el empleo de la superficie techada en la producción fotovoltaica revela un campo de investigación en crecimiento, con un incremento prácticamente exponencial de publicaciones desde 2010 hasta 2021. Este dinamismo refleja la creciente relevancia del tema en el contexto de la transición energética global y la necesidad de democratización del acceso energético.

El análisis bibliométrico evidencia una fuerte concentración geográfica de la producción científica en algunos países, particularmente Inglaterra, Estados Unidos, China y Australia, reproduciendo las asimetrías del sistema científico global. En América Latina, Brasil, Chile y Colombia lideran la producción, mientras que Argentina mantiene una participación marginal en este tema de investigación, pese a contar con marcos normativos favorables como la Ley 27.424/17.

Desde una perspectiva metodológica, se identificaron tres niveles de aproximación: métodos de bajo nivel basados en datos estadísticos agregados, de precisión limitada pero amplia escalabilidad; métodos de nivel intermedio que combinan información estadística con herramientas GIS y redes neuronales, ofreciendo un balance entre precisión y escala; y métodos de alto nivel que incorporan procesamiento detallado de edificios y modelos tridimensionales, alcanzando mayor precisión a costa de restringir la escala de aplicación. La selección metodológica determina tanto la aplicabilidad de los resultados como su utilidad para la formulación de políticas públicas.

Un hallazgo crítico es la predominancia del enfoque tecnocrático en la literatura analizada. El mapa semántico de palabras clave revela que la mayoría de los estudios se circunscriben a las dimensiones ingenieriles y económicas del problema, privilegiando la optimización tecnológica y la evaluación

financiera por sobre consideraciones socioambientales. Esta orientación reproduce una visión reduccionista que invisibiliza los procesos de co-producción entre tecnología y sociedad, así como las relaciones de poder que atraviesan las transiciones energéticas.

En este sentido, se valora la incorporación de tópicos relativos a la cuestión de la justicia energética, que ofrece un marco crítico que permite reorientar el análisis hacia preguntas fundamentales sobre quién accede, quién decide y quién se beneficia de las tecnologías energéticas. La escasa presencia de tópicos vinculados a la equidad, la participación comunitaria o los impactos distributivos en las publicaciones analizadas sugiere una débil problematización de los aspectos socioambientales. Incorporar esta perspectiva implica reconocer que las transiciones energéticas no son meramente técnicas, sino profundamente políticas, y que su éxito depende tanto de la innovación tecnológica como de la construcción de procesos inclusivos y democráticos.

El análisis comparativo de los 60 artículos seleccionados a partir de su centralidad en las citaciones y disponibilidad, que fue estructurado a partir de la matriz de análisis propuesta, revela patrones consistentes en las aproximaciones metodológicas y marcos conceptuales empleados. Respecto a la escala geográfica, la literatura transita desde análisis globales de alta resolución que sacrifican detalle local (Gagnon et al., 2021) hasta estudios municipales que permiten planificación precisa, pero limitan la transferibilidad (Mainzer et al., 2014). La homogenización de datos emerge como proceso crítico escasamente documentado, siendo excepcionales los trabajos que explicitan algoritmos de limpieza y criterios de unificación cartográfica (Assouline et al., 2017; Bergamasco y Asinari, 2011). El modelado tridimensional y efectos de sombreado, fundamental para contextos urbanos densos, se incorpora progresivamente mediante técnicas de Ray-Tracing y DSM, evidenciando diferencias superiores al 20% en estimaciones que omiten esta consideración (Tziritis et al., 2024). Los modelos de radiación, aunque centrales para la estimación fotovoltaica, reciben tratamiento heterogéneo, destacándose aproximaciones multi-modelo que reducen errores de predicción hasta 30% (Ruiz-Arias et al., 2013).

La dimensión política y filosófica de la transición energética constituye la mayor ausencia en la literatura analizada. Los escasos trabajos que abordan supuestos e implicancias políticas (Becker et al., 2017; Korsnes et al., 2018; Chernyakhovskiy et al., 2016) evidencian que las narrativas oficiales de sostenibilidad encubren frecuentemente lógicas tecnocráticas y de tecnoptimismo que priorizan eficiencia económica sobre participación democrática. La evaluación de impactos ambientales, sociales y económicos se restringe mayormente a análisis de viabilidad financiera y externalidades ambientales cuantificables, omitiendo consideraciones distributivas y de equidad. Esta limitación es particularmente crítica en estudios de mecanismos de compensación, donde trabajos como los de Simshauser (2022) y Borenstein (2017) demuestran que esquemas aparentemente neutros como el *net metering* pueden profundizar brechas socioeconómicas al concentrar beneficios en estratos con capacidad de inversión inicial, reproduciendo patrones de injusticia energética que contradicen los objetivos democratizadores de la generación distribuida.

Para el contexto argentino, la superficie techada urbana representa un recurso estratégico subutilizado que podría contribuir significativamente a la descentralización del sistema energético. La convergencia entre disponibilidad de superficie, recurso solar y concentración de demanda en centros urbanos configura condiciones favorables que requieren abordajes metodológicos adaptados a las particularidades territoriales, socioeconómicas y regulatorias nacionales.

La integración de perspectivas CTS y de justicia energética en futuros estudios resulta imprescindible para superar la visión tecnocéntrica dominante y construir marcos analíticos que reconozcan la naturaleza sociotécnica de las transiciones energéticas, contribuyendo así a procesos más inclusivos, democráticos y sustentables de transformación del sistema energético.

REFERENCIAS

Antonanzas-Torres, F. (2013). Review of photovoltaic power forecasting. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Assouline, D. (2017). Large-scale rooftop solar photovoltaic technical potential estimation using Random Forests. Applied Energy.
Becker, S. (2017). Featuring renewable energy in African cities: Distributed photovoltaics and sustainable energy transitions. Energy Policy.
Bergamasco, L., y Asinari, P. (2011). Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area. Energy and Buildings.
Blanc, P. (2011). Direct normal irradiance related definitions and applications: The circumsolar issue. Solar Energy.
Bodis, K. (2019). A high-resolution geospatial assessment of the rooftop solar photovoltaic potential in the European Union. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
Borfecchia, F. et al. (2014). Active and passive remote sensing for supporting the evaluation of the urban solar energy potential. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(6), 2700-2711.
Borenstein, S. (2017). Private Net Benefits of Residential Solar PV: The Role of Electricity Tariffs, Tax Incentives, and Rebates. American Economic Review.
Brownson, J. et al. (2015). Assessing Solar Resources. Solar Energy Conversion Systems. Academic Press.
Castellanos, S. (2017). Rooftop solar photovoltaic potential in cities: how scalable are assessment approaches? Energy Policy.
Chen, C. (2005). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 57(3), 359-377.
Chernyakhovskiy, I. (2016). Institutional factors affecting distributed photovoltaic deployment: A comparative analysis of Germany, Brazil, and the United States. Energy Policy.
Dagnino, R. (org.). (2010). Tecnologia Social: ferramenta para construir outra sociedade. 2ª ed. rev. e ampliada. Campinas: Komedi.
Reinhart, C. F. (2005). DAYSIM Version 2.1: Technical Report (NRC-IRC-16851). Ottawa: National Research Council Canada.. github.com/MITSustainableDesignLab/Daysim
Darghouth, N. R. (2016). Net metering and market feedback loops: Exploring the impact of retail rate design on distributed PV deployment. Energy Policy.
Freitas, S. (2015). Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review. Solar Energy.
Gagnon, P. et al. (2016). Rooftop Solar Photovoltaic Technical Potential in the United States: A Detailed Assessment. National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/TP-6A20-65298.
Gueymard, C. A. (2014). A review of validation methodologies and statistical performance indicators for modeled solar radiation data. Solar Energy.
Huang, Y. (2023). An Integrated Approach for 3D Solar Potential Assessment at the City Scale. Remote Sensing.
IEA (2024). Renewables 2024: Analysis and forecasts to 2030. International Energy Agency. Paris: IEA Publications.
Jakubiec, J. A., y Reinhart, C. F. (2013). A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations. Solar Energy.
Jenkins, K., McCauley, D., Heffron, R., Stephan, H., y Rehner, R. (2016). Energy justice: A conceptual review. Energy Research y Social Science, 11, 174–182. https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.10.004
Konzen, G. et al. (2024). A comprehensive review of photovoltaic systems: Advances, challenges, and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 189, 113876.
Korsnes, M. (2018). Sustainability transitions in the making: A closer look at Norwegian renewable energy policy and practice. Energy Research y Social Science.
Kreimer, P., y Vessuri, H. (eds.). (2018). *Perspectivas latinoamericanas en el estudio social de la ciencia, la tecnología y el conocimiento*. Buenos Aires: CLACSO
Ley 27424 Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública. https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27424-305179/texto
Li, Y. (2023). A novel approach for assessing rooftop-and-facade solar photovoltaic potential in rural areas using three-dimensional building models. Energy.

López, A. (2012). Analysis of photovoltaic self-consumption depending on variable time periods. Renewable Energy.
Mainzer, K. (2014). A high-resolution determination of the technical potential for residential-roof-mounted photovoltaic systems in Germany. Applied Energy.
Margolis, R. (2017). Modeling the potential for PV installation in residential buildings in dense urban areas. Energy and Buildings.
McCauley, D. et al. (2013). Advancing energy justice: the triumvirate of tenets. International Energy Law Review, 32(3), 107-110.
Merrit, H. (2024). Scale capitalism and the geopolitics of energy transition. Energy Policy, 185, 113876.
Mills, A., y Wiser, R. (2013). Changes in the economic value of photovoltaic generation at high penetration levels. Environmental Research Letters.
Morozov, E. (2013). *To save everything, click here: The folly of technological solutionism*. PublicAffairs.
Mundaca, L., y Markandya, A. (2016). Assessing regional progress towards a 'green energy economy'. Energy Policy.
NREL (2016). Rooftop Solar Photovoltaic Technical Potential in the United States: A Detailed Assessment. National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-6A20-65298.
Polo, J. (2016). Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets. Solar Energy.
Rai, V., y Sigrin, B. (2013). Diffusion of environmentally-friendly energy technologies: buy versus lease differences in residential PV markets. Environmental Research Letters.
Redweik, P. (2013). Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. Solar Energy.
Ruiz-Arias, J. A. (2013). A multi-model ensemble approach to assess solar resource variability and uncertainty. Solar Energy.
Sander, L. et al. (2024). Machine learning approaches for rooftop solar potential assessment using high-resolution imagery. Applied Energy, 356, 122358.
Santos, T. (2014). Applications of solar mapping in the urban environment. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
Siddharth Joshi (2021). High resolution global spatiotemporal assessment of rooftop solar photovoltaics potential. Nature Communications.
Simshauser, P. (2022). On the inequity of flat-rate electricity tariffs. Energy Economics.
Smith, A., Fressoli, M., Abrol, D., Arond, E., y Ely, A. (2017). *Grassroots Innovation Movements: Pathways to Sustainability*. London: Routledge
Sovacool, B. K., y Dworkin, M. H. (2015). Energy justice: Conceptual insights and practical applications. Applied Energy, 142, 435-444.
Teofilo, A., y Chayn Sun, Q. (2023). Rooftop photovoltaic potential assessment: A comprehensive review of methods and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 173, 113076.
Tziritis, E. (2024). Ray-Tracing modeling for urban photovoltaic energy planning and management. Applied Energy.
Videla, F. et al. (2023). Estado actual del desarrollo de la generación fotovoltaica distribuida en Argentina. Revista CeI. Tomo 73 Nº 1. 2023
Wierling, A. (2018). Statistical evidence on the role of energy cooperatives for the energy transition in European countries. Energy Research y Social Science.
Wilkinson, S. et al. (2022). A systematic review of rooftop solar photovoltaic potential mapping methods. Solar Energy, 244, 101-118.
Yildirim, D. et al. (2021). High-resolution building-integrated photovoltaic potential mapping using machine learning and 3D city models. Applied Energy, 306, 118049.
Zhong, Q., y Tong, D. (2022). Large-scale rooftop solar photovoltaic potential assessment using deep learning and satellite imagery. Energy, 239, 122364.

THE USE OF ROOFTOP SURFACE FOR PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION: A COMPARATIVE REVIEW OF METHODS, STRATEGIES, AND APPROACHES

ABSTRACT: This work aims to systematically analyze the methodological approaches employed in scientific literature to evaluate the potential, feasibility, and impacts of rooftop photovoltaic energy. The

literature review was conducted through the application of a mixed method approach. First, a descriptive analysis of search results from Web of Science, Scopus, and Lens databases, followed by their processing using CiteSpace and Lens.org. Second, a qualitative analysis of 60 articles selected based on their centrality according to the descriptive analysis. This analysis was performed according to six dimensions: geographical scale of approach, data homogenization methods, consideration of political-philosophical assumptions, inclusion of shading effects and 3D modeling, radiation model specification, and evaluation of environmental, social, and economic aspects. The analysis demonstrates the need for greater methodological integration that simultaneously considers technical, environmental, social, and political-economic aspects for a comprehensive evaluation of rooftop photovoltaic potential as a component of sustainable energy transition.

Keywords: Photovoltaic power generation, rooftops, roof surface, literature review, energy transition

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 111-122 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CAMPUS UNIVERSITARIO CON PLANTA FOTOVOLTAICA

Daniel Cabrera Díaz[1], Luis I. Silva[1], Cristian H. De Angelo[2], Martín S. García[1], Francisco J. Fernández[1]

[1]Centro de Investigaciones y Transferencia Rafaela – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf) Rafaela, Santa fe, Argentina.

[2]Grupo de Electrónica Aplicada (GEA) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) -Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Tel. 3492-695646 email: daniel.diaz@unraf.edu.ar

RESUMEN: En el presente trabajo se caracteriza el comportamiento energético del Campus de la Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf) durante el año 2024. Se analizaron y procesaron datos horarios de energía importada de la red y generación, a partir de los cuales se obtienen las curvas de energía promedio diaria generada para cada mes, y la curva de consumo promedio diario durante el año 2024. El consumo general se obtiene de la suma de la energía importada de la red y la generación fotovoltaica de la instalación analizada. Con este valor, se obtienen resultados que muestran que la instalación alcanzó una cobertura solar del 7,31 %, con un rendimiento específico (*Yield*) de 1.557 kWh/kWp y una reducción aproximada de 5.010 kg de CO_2 durante el período analizado. Esto evidencia un impacto ambiental positivo de la generación fotovoltaica y un avance en el modelo energético del campus.

Palabras clave: energía solar, consumo energético, generación distribuida, registros, indicadores de rendimiento, eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN:

Existen informes de organismos internacionales, como la Agencia Internacional de Energía, que señalan que el 30% del consumo global de energía eléctrica y el 26% de las emisiones globales, se relaciona con el uso y operación de edificios IEA (2025). Dichas cifras abarcan edificaciones residenciales, institucionales y educativas. En este contexto, los campus universitarios constituyen entornos complejos, compuestos por edificios con usos diversos (docencia, administración, residencias, investigación, entre otros), lo que se traduce en consumos eléctricos elevados y variables. Estos consumos fluctúan según el calendario académico, las estaciones del año, los horarios de funcionamiento y la infraestructura operativa (Aguallo-Ullao et al. 2018). Bajo este marco, es de gran ayuda la identificación de patrones de consumo de energía eléctrica (Castro et al. 2021) para implementar medidas de eficiencia energética, y propiciar el uso de fuentes renovables de energía. Con el propósito de avanzar hacia un modelo de edificios sustentables, se desarrollan investigaciones a nivel regional que analizan el impacto de estas instalaciones, considerando la reducción tanto del consumo de energía eléctrica como de los gases de efecto invernadero. Asimismo, se realizan simulaciones previas a la operación para compararlas con el rendimiento real de las plantas solares fotovoltaicas, con el fin de evaluar el autoconsumo y dimensionar adecuadamente futuras ampliaciones de las instalaciones.

Bajo esta línea, en Argentina, se ha promovido el uso de sistemas de generación de energía renovables mediante proyectos de alcance nacional, uno de ellos es IRESUD. En la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), se adhirieron a este proyecto, y se instaló una planta piloto de 2,8 kWp. Los resultados sobre el funcionamiento de esta planta mostraron que la

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

generación total de energía en el año 2016 estuvo dentro del objetivo previsto y se ajustaron a los patrones de variación horaria, diaria y mensual esperables (Ferreyra et al., 2017). Hay campus universitarios en los que se han instalado plantas solares fotovoltaicas como parte de estrategias institucionales encaminadas a la eficiencia energética, un ejemplo es en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata, donde se pudieron identificar patrones característicos en la utilización de electricidad de dos edificios con distintos usos, mediante la caracterización de las curvas de carga eléctricas de dos sectores de la facultad, y el análisis de la instalación de dos sistemas fotovoltaicos (FV) para su cobertura (Chevez et al., 2023). Otro uso de las plantas solares fotovoltaicas es en estaciones de carga de vehículos eléctricos, y las universidades son un entorno ideal para su instalación, ya que cuentan con un gran número de estudiantes, profesores y personal que podrían beneficiarse de ellas y, al mismo tiempo, sirven como material didáctico para concientizar sobre el uso de las energías renovables (Cecchini et al., 2024).

En la Universidad Estadual de Campinas, Sao Paulo, Brasil, desde agosto del año 2017 se puso en marcha el proyecto Campus Sostenible, y mediante un subproyecto se le pudo dar seguimiento a la construcción y operación de 6 plantas de energía fotovoltaica de 535,26 kWp, que tienen como objetivo mejorar la sostenibilidad de la universidad. A raíz de este proyecto se puede analizar el impacto del sistema en la universidad y verificar diferentes comportamientos (de Souza Silva et al., 2022). El éxito de este proyecto influyó en otras universidades, tal es el caso de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Belo Horizonte, en donde se evalúa y diseña una planta solar fotovoltaica en las estructuras existentes alrededor del edificio de la Facultad de Ingeniería. Para este trabajo se emplean a modo de prueba módulos fotovoltaicos de 400 Wp, instalados en los alrededores del edificio, y el objetivo es documentar la irradiación solar estacional, evaluar las áreas de los tejados disponibles para la energía solar, simular los efectos de sombreado diarios y estacionales de las estructuras circundantes existentes, determinar la ubicación de los paneles siguiendo los códigos y normas de Brasil, y calcular las contribuciones de la energía fotovoltaica con la posible reducción de las facturas de energía de la universidad (Diniz et al., 2024).

En Colombia, la Universidad Autónoma de Occidente, ubicada en Cali, ha implementado el modelo de campus sostenible, con un sistema fotovoltaico instalado de 400 kWp alrededor del campus, actualmente se posiciona en el lugar 39 del Ranking Mundial de Universidades en Sostenibilidad. En la línea de este artículo, se describe cómo la universidad implementa la innovación tecnológica, con el fin integrar la instalación de un sistema fotovoltaico en un campus universitario, mostrando su relevante contribución a la generación de electricidad en los edificios del campus, mediante el análisis de los diferentes parámetros eléctricos junto con los indicadores de rendimiento del sistema (Castrillón-Mendoza et al., 2020). Esto ha permitido la implementación de soluciones tecnológicas dentro del campus, proporcionando una respuesta energética sostenible basada en la eficiencia energética y el ahorro de emisiones de carbono.

En los trabajos revisados, esta tecnología se emplea para cubrir parcialmente la demanda energética del campus con fuentes limpias, así como para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y planificar la expansión del sistema mediante la integración de otras energías renovables. Asimismo, se incorpora como herramienta educativa y de investigación, fomentando proyectos académicos, de formación técnica y estudios energéticos, con el objetivo de fortalecer el modelo de campus sostenible, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

Bajo este contexto, el presente artículo propone la construcción y caracterización de las curvas de consumo de energía eléctrica, y generación de energía solar fotovoltaica del campus de la Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf) durante el año 2024. En la sección 2 se describe el campus, la planta solar fotovoltaica y el equipo medidor de energía. En la tercera sección se muestran los resultados y se calcula uno de los indicadores de eficiencia energética esenciales: el grado de cobertura solar de la instalación fotovoltaica. En la última sección se exponen las conclusiones del trabajo y se proponen líneas de investigación futura.

METODOLOGÍA

El Campus de la UNRaf está ubicado en un predio de 10 hectáreas en el cual se encuentran construidos dos edificaciones, el Edificio 1 (Laboratorio) y el Edificio 4 (Edificio de Enseñanza y Aprendizaje). El Edificio 1, como se muestra en la Figura 1 a., consta de dos plantas, con una superficie total de 1.000 m^2, diseñados en respuesta a la necesidad de aulas laboratorio de calidad donde se desarrollan las actividades académicas y de investigación de la Universidad, tiene instalado en su techo una planta de paneles fotovoltaicos, un termotanque solar y un sistema de recuperación de agua de lluvia y almacenamiento en reservorios que permitirá su utilización para distintos fines. Además, cuenta con protecciones solares según orientación y aventanamientos controlados, ventilaciones naturales y materiales con alta resistencia térmica. Obtiene alta luminosidad natural de los espacios por sus fachadas de vidrio, y la lucarna en el techo, que evita el uso de iluminación artificial durante el día. El Edificio 4, como se muestra en la Figura 1 b., entró en operación en el año 2023, consta de dos plantas y tiene un área de 3.400 m^2. Está compuesto por 20 aulas de aproximadamente 100 m^2 que permiten recibir a un total de 1.000 estudiantes. Además, tiene un gran espacio central de usos múltiples, una oficina y espacios de servicios, se caracteriza por contar con aulas de flexibilidad funcional, que tendrán la capacidad de duplicar o triplicar su tamaño según la cantidad de alumnos. Tiene también sensores de iluminación interior y exterior, a fin de evitar el uso de energía innecesaria.

(a) *(b)*

Figura 1: Imágenes de los edificios que componen el Campus de UNRaf, (a) Edificio 1., (b) Edificio 4.

Caracterización del Consumo

Durante el año 2024, el campus universitario operó con una infraestructura eléctrica cuyo equipamiento instalado alcanzaba una potencia de 279 kW, determinada a partir de la observación y registro del equipamiento en funcionamiento. Esta potencia constituye la base para el desarrollo de actividades académicas y de investigación, así como para garantizar servicios esenciales, como la refrigeración de alimentos para el personal que trabaja en ambos edificios.

Durante el año 2023 la Empresa Provincial de Energía de la provincia de Santa Fe (EPE) implementó una herramienta tecnológica para que grandes usuarios y otros consumidores domésticos que han instalado plantas solares fotovoltaicas, puedan monitorear y registrar el consumo de energía eléctrica de forma continua, facilitando la toma de decisiones para optimizar el uso de la energía eléctrica y así obtener una visión detallada y precisa del consumo energético. Esta herramienta es la Telemedición, que consiste en instalar un sistema de comunicación a los medidores de energía, y que los registros diarios se muestren en la Oficina Virtual de la EPE, al cual los usuarios tienen acceso para ver la factura y los servicios que brinda la empresa.

Este sistema de comunicación va interconectado al medidor emplazado. Este medidor de energía es bidireccional trifásico de cuatro hilos, modelo ZMG405 de la marca Landys + Gyr, con dimensiones de 177 mm de ancho, 241,5 mm de alto y 75 mm de profundidad, con un peso de 1,5 kg. Su tensión nominal es de 380 V entre fases y 220 V entre fase y neutro, con rangos operativos que varían entre el 70 % y el 125 % de la tensión nominal. Internamente tiene una conexión a transformadores de intensidad con una relación de transformación entre el primario y el secundario de 1000 / 5 A. Opera a una frecuencia de 50 Hz con tolerancia de ±2 % y cuenta con clase de precisión C. En cuanto a comunicación, incluye interfaz óptica IEC 62056-21, puertos serie RS232 y RS485 con protocolos IEC-870-5-102-REE.

Con esta herramienta se registró el consumo de energía eléctrica diario por hora de todo el año 2024. El consumo de energía total registrado durante todo el año fue de 148.067 kWh. En la Tabla 1 y en la Figura 2 se pueden ver los registros mensuales. Cabe mencionar que, para este caso particular donde la totalidad de la generación se destina para autoconsumo, el consumo total de energía registrada coincide la energía neta consumida. En los valores presentados en la Tabla 1 se observa que enero corresponde al mes con el valor más bajo y marzo al mes con el valor más alto. El primer mes es fecha de receso académico, por lo que trabaja el personal mínimo de mantenimiento, asiste poco personal docente y de investigación, y se acorta el horario de operación de los edificios. Marzo es la fecha en que comienzan las inscripciones y las clases para alumnos de primer año, la temperatura ambiente se mantiene alta, el personal docente, de investigación, de mantenimiento y de oficina se encuentra trabajando en el horario normal, por lo que hay un mayor uso de los equipos electrodomésticos de los edificios.

Tabla 1: Registros mensuales del consumo de energía durante el año 2024

Meses	Registros (kWh)
Enero	6.026
Febrero	11.131
Marzo	18.942
Abril	12.068
Mayo	14.362
Junio	12.472
Julio	12.848
Agosto	14.437
Septiembre	11.053
Octubre	12.930
Noviembre	12.079
Diciembre	9.719

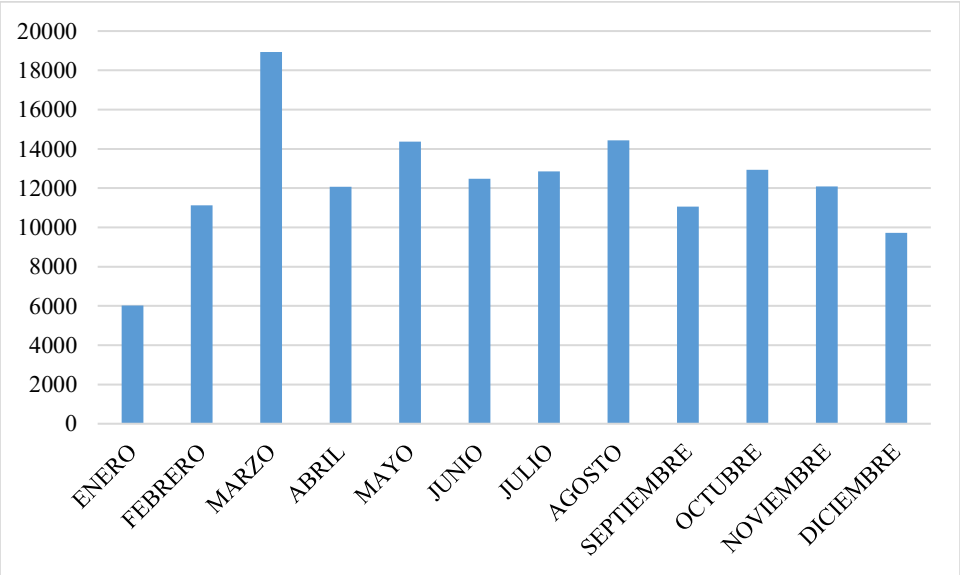


Figura 2: Gráfico de los registros mensuales de energía eléctrica

Además de las variaciones asociadas a la actividad académica y administrativa, los registros muestran patrones que se repiten a lo largo del año. Para encontrar estos patrones, se halló el promedio de la energía diaria registrada para todos los meses. A raíz de este cálculo, se presentan tres escenarios

diferentes, el primero, durante el horario de 23:00 a 6:00 horas del próximo día, donde se mantiene el consumo dentro de un rango de 12 a 18 kWh. Estos valores corresponden al uso de iluminación exterior, servidores, y sistemas de seguridad y vigilancia. El segundo escenario ocurre en el periodo diurno, aproximadamente entre las 6:00 y las 17:00 horas. Los valores de energía descienden durante la mañana y el mediodía por dos motivos: la desconexión de la iluminación exterior y el aumento en la producción de la planta solar fotovoltaica. Cuando la planta empieza a generar, una porción de la energía consumida de la red disminuye, ya que la demanda se cubre con la generación propia. El tercer escenario se da en el horario de 17:00 a 23:00 horas, en donde hay un aumento en el consumo de energía, porque es el momento de mayor asistencia de personas a clases, y coincide con el horario nocturno, cuando las plantas solares dejan de generar energía eléctrica.

Esta situación se refleja en la Figura 3, que muestra la evolución del consumo promedio diario de energía eléctrica durante el año 2024. El consumo más bajo se registra en enero, ya que corresponde al período de vacaciones para docentes, investigadores y alumnos; además, según la política de la universidad, durante este mes la jornada laboral se extiende hasta el mediodía. En cambio, durante los meses lectivos (de marzo a diciembre), la demanda comienza a incrementarse a partir de las 16:00 horas, alcanzando su punto máximo alrededor de las 20:00 horas, con un valor máximo de 50 kWh registrado en el mes de marzo. Este comportamiento se explica por la mayor afluencia de estudiantes en el turno vespertino y porque, en ese horario, no existe generación fotovoltaica, por lo que la energía eléctrica que se consume se entrega desde la red de distribución eléctrica.

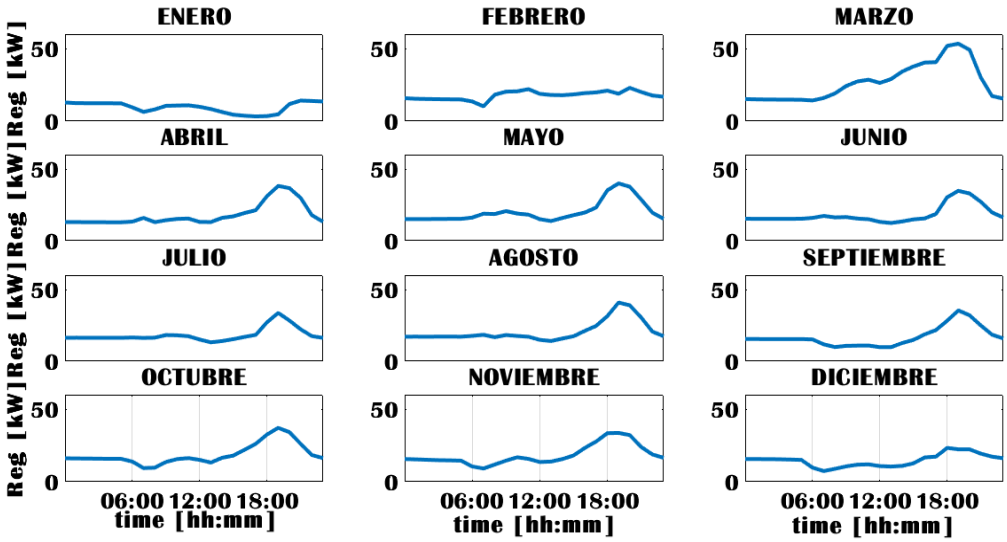


Figura 3: Gráfico de los registros promedio diarios de energía eléctrica para cada mes.

Caracterización de la Generación

Una de las políticas de la universidad es el compromiso de generar proyectos que garanticen la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Entre estos, se destaca el ODS 7, cuyo propósito es *"garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos"* (Naciones Unidas, 2015, p. 20). En este marco, se fomenta el uso de fuentes renovables de energía, con el objetivo de reducir la dependencia de fuentes fósiles y contribuir a la transición hacia un modelo energético más limpio y eficiente.

Siguiendo esta línea, sobre la azotea del Edificio 1 se encuentra emplazada una planta solar fotovoltaica que se muestra en la Figura 4. Esta planta se puso en marcha en febrero del 2021, y cubre un área de 73 m^2 de los 550 m^2 que abarca el techo de dicha edificación. Consta de 20 módulos solares fotovoltaicos modelo JY375M6-Ga-5, de una potencia pico de 375 W cada uno. En el mismo lugar se encuentra montado el inversor ABB modelo TRIO-7.5-TL-OUTD, el cual tiene una tensión máxima de entrada de 1000 V y una tensión de salida de 400 V de corriente alterna trifásica. Los datos técnicos de ambos elementos se muestran en las Tablas 2 y 3.

Figura 4: Planta solar fotovoltaica de 7.5 kWp

Tabla 2: Datos técnicos del módulo solar fotovoltaico

Módulo Solar JY375M6-Ga-5	
Especificaciones mecánicas	
Tipo de celda	Mono cristalino 156.75 × 156.75 mm
Numero de celdas	72（6×12）
Dimensión	1956 × 992 × 40 mm
Peso	22 kg
Vidrio frontal	Vidrio templado recubierto
Recubrimiento posterior	Blanco
Material de marco	Aleación aluminio anodizado
Clase de seguridad incendio	Clase C
Caja de conexión	IP67， 3 Diodos
Conector	MC4 compatible
Cables PV1-F 4MM2	PV1-F 4MM2
Material encapsulante	EVA
Especificaciones eléctricas (STC)	
Potencia Máxima [Wp]	375
Tolerancia de Potencia	0~+5Wp
Tensión de operación (Vmp) [V]	40.47
Corriente de operación (Imp) [A]	9.27
Tensión de circuito abierto (Voc) [V]	48.57
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	9.88
Eficiencia del módulo (%)	19.33%
Clase de protección eléctrica: Clase II - Clase de Aplicación: Clase A (IEC 61730-1:2004)	
Especificaciones eléctricas (NOCT)	
Potencia Máxima (Pmax) [Wp]	278
Tensión de operación (Vmp) [V]	38.3
Corriente de operación (Imp) [A]	7.26
Tensión de circuito abierto (Voc) [V]	44.86
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	7.99
Eficiencia del módulo %	19.33%

NOCT: Irradiación 800W/m², temperatura ambiente 20 °C, velocidad del viento 1m/s.

Tabla 3: Datos técnicos del inversor instalado

Inversor ABB TRIO-7.5-TL-OUTD	
Datos de Entrada (CC)	
Tensión máxima (V)	1000 V
Rango de tensión de operación MPPT (V)	200 – 950 V
Tensión MPP (V)	320 – 800 V
Máxima corriente de entrada para cada MPPT(A)	2 x 15 A
Máxima corriente de cortocircuito para cada MPPT(A)	2 x 20 A
Datos de Salida (CA)	
Tensión de salida (V)	400 V, trifásica
Frecuencia de operación (Hz)	50/60 Hz
Potencia de salida nominal (cosφ = 1)	7500 W
Potencia de entrada de DC máxima para cada MPPT (PMPPTmax)	4800 W
Rango de tensión de operación de CA (V)	320 - 480 V
Potencia aparente (cosφ = 0,9)	6750 VA
Máxima corriente de salida	12.5 A
Cantidad de MPPT	2

Durante el año 2024 esta planta estuvo funcionando todos los días, lo que permitió aprovechar de forma continua la radiación solar, cubriendo una parte de la demanda de energía eléctrica. Alrededor de las 6:00 horas comienza la generación, con un incremento progresivo, alcanzando el pico máximo de generación entre las 12:00 y las 14:00 horas, y una disminución paulatina hasta las 19:00 horas aproximadamente. En la Figura 5 se presenta un diagrama de dispersión de la potencia generada diariamente para todo el año. La nube de puntos evidencia la variabilidad de la generación en función del horario, influenciada por condiciones meteorológicas como nubosidad, lluvia o alta temperatura. Además, sigue la forma de campana característica de la radiación solar diaria, alcanzando valores máximos cercanos a los 8 kW entre las 12:00 y las 14:00 horas, reafirmando lo antes escrito. En la parte superior de la figura, se observa una línea pseudohorizontal sobre los 7,5 kW, producto de la limitación del inversor. Cabe destacar que la información se obtuvo de los datos registrados por el inversor durante el año.

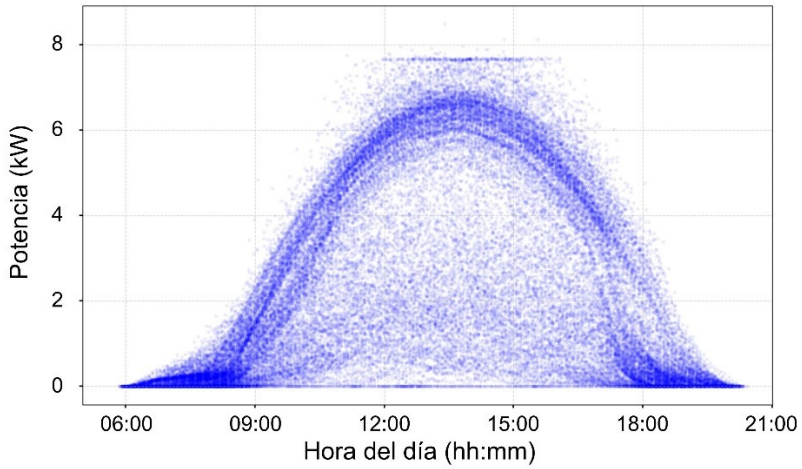


Figura 5: Diagrama de dispersión de la potencia diaria generada para todo el año 2024.

Como primer paso se obtuvo la curva de energía promedio diaria generada para cada mes. Estas curvas son fundamentales para evaluar futuros proyectos en el Campus que requieran energía eléctrica proveniente de una planta fotovoltaica. En la Figura 6 se presentan los resultados, los cuales muestran que, durante los meses de verano (diciembre a febrero), la generación alcanza valores promedio cercanos a los 6 kWh, y en los meses de invierno (junio, julio y agosto) se reducen a 3,5 kWh, consecuencia de las diferencias en la irradiancia solar. En los meses de otoño y primavera, la generación es variable debido a la nubosidad y las condiciones atmosféricas propias. A partir de estos resultados es posible obtener la energía total generada por la planta en cada mes del año.

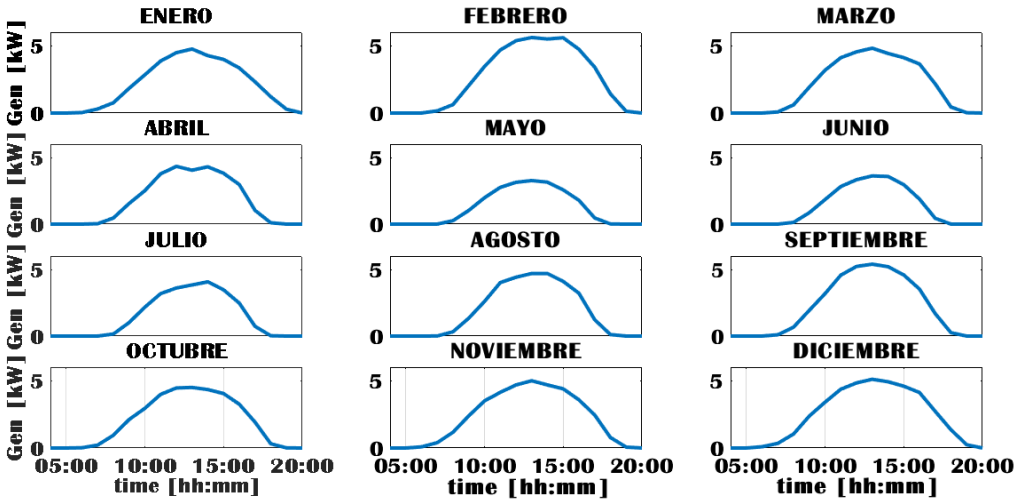


Figura 6: Curvas de generación promedio diaria de la planta solar fotovoltaica durante el año 2024.

En las figuras 3 y 6 de esta sección se muestran datos promedio diario durante un año, acorde a los registros de energía obtenidos del medidor de la empresa distribuidora, y los datos promedio horario de la generación durante un año. Esos datos son los empleados para la obtención del consumo del campus, que se realizó mediante la Ecuación 1:

$$C = R + G \tag{1}$$

donde:

C =Consumo general de energía del campus.
R = Energía neta importada de la red.
G = Generación de la planta solar fotovoltaica.

RESULTADOS

Los valores obtenidos mediante la Ecuación 1 corresponden al consumo promedio diario del campus. Esta información resulta fundamental para determinar la energía real demanda por el campus, y sirve de base para obtener el consumo mensual y anual.

En la Figura 7 se presenta un gráfico del consumo de energía mensual durante el año 2024, calculado mediante la Ecuación 1. En la Tabla 4 se representan los mismos datos. En ambos se identifica que marzo fue el mes de mayor demanda energética y enero el de menor. Además, la energía anual consumida fue de 159.724 kWh.

1

Tabla 4: Consumo mensual del Campus durante el año 2024.

Consumo general (kWh)	
Enero	7.090
Febrero	12.368
Marzo	19.996
Abril	12.932
Mayo	14.993
Junio	13.113
Julio	13.613
Agosto	15.388
Septiembre	12.142
Octubre	13.953
Noviembre	13.196
Diciembre	10.941
Anual	159.724

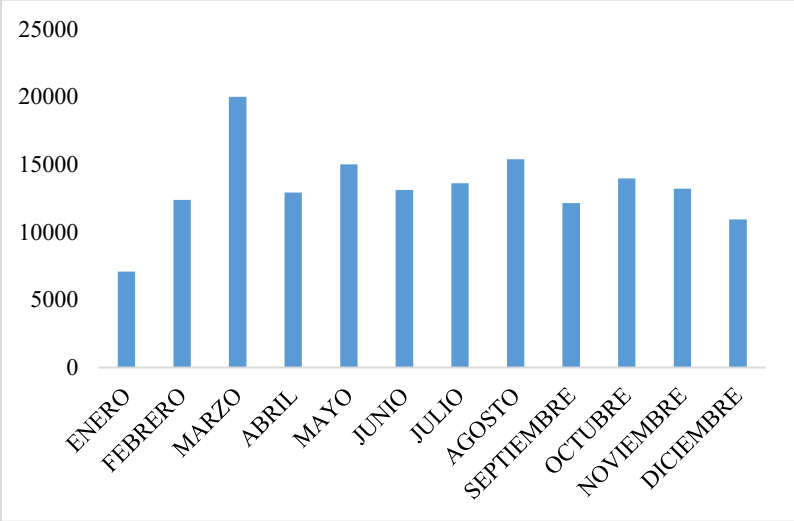


Figura 7: Consumo mensual del Campus durante el año 2024.

Con estos valores se calculó el porcentaje mensual y anual de la energía total que produce la planta solar fotovoltaica. Los meses de mayor cobertura son los meses de verano, siendo enero el mes de mayor aprovechamiento de la generación fotovoltaica, sin embargo, mayo es un mes crítico, porque durante ese mes hubo un descenso de temperatura muy brusco y días de mucha nubosidad, provocando un aumento en la utilización de la energía para calefacción y la baja generación fotovoltaica. Este indicador se representa en porcentaje, y se obtiene a través de la ecuación 2 (Ec. 2).

$$CS = {}^{G}/_{C} * 100 \quad (2)$$

donde:

CS =Cobertura Solar (%).
G = Generación de la planta solar fotovoltaica.
C =Consumo de energía del campus.

2

Tabla 5: Cobertura solar mensual y anual.

Cobertura Solar (%)	
Enero	14,98
Febrero	10,01
Marzo	5,28
Abril	6,71
Mayo	4,22
Junio	4,91
Julio	5,63
Agosto	6,19
Septiembre	8,98
Octubre	7,34
Noviembre	8,48
Diciembre	11,19
Anual	7,31

Siguiendo la línea del trabajo, con la obtención de la generación es posible calcular el rendimiento específico de la planta solar fotovoltaica o *yield*. Este indicador es clave para evaluar el desempeño diario y anual de la planta, y se obtuvo mediante la ecuación 3 (Ec. 3):

$$Yield = {}^{G}/_{P_p} \quad (3)$$

donde:

Yield = Rendimiento específico de la planta solar fotovoltaica (kWh/kWp).
G = Generación de la planta solar fotovoltaica (kWh).
P_p = Potencia pico instalada de la planta solar fotovoltaica (kWp).

Tabla 6: Rendimiento específico de la planta solar fotovoltaica durante el año 2024.

Rendimiento Específico (kWh/kWp)	
Enero	141,62
Febrero	165,14
Marzo	140,81
Abril	115,64
Mayo	84,36
Junio	85,83
Julio	102,22
Agosto	127,06
Septiembre	145,32
Octubre	136,61
Noviembre	149,16
Diciembre	163,27
Anual	1.557

En la Tabla 6 se muestra el rendimiento mensual y anual de la planta solar, en la que se muestra a febrero como el mes de mayor rendimiento con 165,14 kWh/kWp, y mayo el de menor rendimiento, con 84,36 kWh/kWp. El rendimiento anual fue de 1.557 kWh/kWp, un valor alto para la provincia de Santa Fe. Para obtener el desempeño diario se utilizó la generación promedio diaria, que es de 32 kWh, lo que corresponde a un rendimiento diario de 4,27 kWh/kWp/día. Esto indica que por cada kilowatt pico (kWp) instalado, se generó, en promedio, 4,27 kWh por día. El valor 4,27 kWh/kWp/día se obtiene al

dividir los 1.557 kWh/kWp/año entre los 365 días de año, mientras que los 32 kWh diarios surgen de dividir la generación anual de la planta solar fotovoltaica (11.678 kWh) entre los 365 días del año.
El empleo de energía solar fotovoltaica, contribuye directamente a los objetivos de mitigación del cambio climático, mejora la calidad del aire y promueve un uso más sostenible de los recursos energéticos. Con la instalación de una pequeña planta fotovoltaica se evita la emisión de dióxido de carbono (CO_2), al sustituir energía proveniente de combustibles fósiles por energía renovable.
Para conocer el impacto ambiental que tiene una planta solar fotovoltaica, se calcula un indicador que estima la cantidad de kilogramos de dióxido de carbono (CO_2) que se dejaron de emitir a la atmósfera. Este indicador tiene en cuenta el Factor de emisión para Argentina (Cecchini et al., 2024), y se calcula mediante la Ec. 4. En el transcurso del año 2024, la planta solar fotovoltaica instalada en el Edificio 1 evitó la emisión de aproximadamente 5.010 kilogramos de dióxido de carbono (5.010 kg. CO_2).

$$R.CO_2 = G * F.E \quad (4)$$

donde:

R. CO_2 = Reducción de kilogramos de CO_2 (kg. CO_2).
G = Generación de la planta solar fotovoltaica (kWh).
F.E = Factor de emisión para Argentina (0.429 kg. CO2 / kWh).

El resultado es un valor clave para evaluar el desempeño ambiental de la instalación, ya que genera un impacto positivo sobre la huella de carbono. A largo plazo, este tipo de evaluaciones permite valorar la eficiencia de las políticas de eficiencia energética y resaltar el papel fundamental de las energías renovables en la descarbonización de la matriz energética.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Mediante el análisis del consumo y la generación de energía eléctrica en el campus de la Universidad Nacional de Rafaela durante el año 2024, se comprobó la incidencia de la planta solar fotovoltaica en la cobertura de la demanda energética. El consumo de energía anual fue de 159.724 kWh, registrándose valores máximos en marzo y mínimos en enero, lo que evidencia la influencia conjunta de las actividades académicas y las variaciones climatológicas en el comportamiento energético del Campus.

La cobertura solar anual alcanzó un 7,31 %, con valores máximos en verano (14,98 % en enero) y mínimos en mayo (4,22 %), lo que confirma que la mayor radiación disponible coincide con los meses de menor actividad académica. El rendimiento específico anual de la planta fue de 1.557 kWh/kWp, estando dentro de los valores de referencia de la provincia de Santa Fe.

Desde el punto de vista ambiental, la planta evitó la emisión de aproximadamente 5.010 kg de CO_2 durante el año, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en lo referente a energía asequible y no contaminante.

El estudio reafirma que la instalación fotovoltaica tiene un impacto positivo en la matriz energética del campus, especialmente al integrar políticas institucionales de eficiencia energética y sostenibilidad.

En esta primera caracterización, no se discrimina entre día hábil y fin de semana. Este análisis se desarrolló utilizando el formato de *"mes tipo"*, requerido en algunos softwares de simulación y análisis de redes eléctricas con generación a partir de fuentes renovables.

En etapas futuras, se incorporará la diferenciación entre el consumo de días hábiles y fines de semana, así como la continuidad del estudio mediante la comparación de los resultados con lo sucedido el año anterior y, posteriormente, con series históricas de varios años, evaluando las potenciales diferencias de los resultados.

Asimismo, como líneas de trabajo futuras, se puede analizar la factibilidad técnica y económica de una ampliación de la planta solar fotovoltaica, realizar estudios de comparación con otras instituciones educativas de la región que tengan instalaciones fotovoltaicas, evaluar técnica y económicamente la

incorporación de sistemas de almacenamiento energético y verificar si la irradiancia solar es bien aprovechada por la planta solar fotovoltaica.

REFERENCIAS

Aguayo-Ulloa, E., Valderrama-Ulloa, C., y Rouault, F. (2018). Analysis of energy data of existing buildings in a university campus. *Energy Procedia, 153*, 429–434.

Castrillón-Mendoza, R., Manrique-Castillo, P. A., Rey-Hernández, J. M., Rey-Martínez, F. J., y González-Palomino, G. (2020). PV energy performance in a sustainable campus. *Electronics, 9*(11), 1874.

Castro, L. E. A., Galaviz, R. E. P., y Estrada, C. S. C. (2021). Sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica para el ahorro de energía y el cambio en los patrones de consumo ante el confinamiento del COVID-19. *Revista Ra Ximhai*, *17*(3 Especial), 331-353.

Chévez, P. J., Viñuela, J. M., Urteneche, E., Fondoso Ossola, S. T., y Martini, I. (2023). Caracterización de patrones de consumo eléctrico e inserción de sistemas fotovoltaicos en edificios universitarios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 27*, 1–6.

Cecchini, J. P., Venghi, L. E., Silva, L. I., Dellasanta, E. E., y Rodríguez, C. R. (2024). Design and evaluation of a standalone electric vehicles charging station for a university campus in Argentina. *International Journal of Renewable Energy Development, 13*(6), 1078–1092.

Cecchini, J. P., Venghi, L. E., Silva, L. I., Ledesma, B., y Coutsiers, E. E. (2024). Evaluación del desempeño de sistemas híbridos solares fotovoltaicos/biogás conectados a la red: caso de estudio de Pujato Norte, Santa Fe. En *Actas de la XLVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables (ASADES)*, Rosario, Argentina. ISBN: 978-987-29873-1-2.

de Souza Silva, J. L., de Melo, K. B., dos Santos, K. V., Sakô, E. Y., da Silva, M. K., Moreira, H. S., y Villalva, M. G. (2022). Case study of photovoltaic power plants in a model of sustainable university in Brazil. *Renewable Energy, 196,* 247–260.

Diniz, A. S. A. C., da Silva, G. M., Nunes, R. E. A., Santana, V. A. C., Braga, D. S., y Maia, C. B. (2024). Evaluation of solar photovoltaics on university buildings: A case study toward campus sustainability. *Solar Compass, 12,* 100100.

Ferreyra, D. M., Bertossi, M. L., Rocchia, N. J., y Szwarc, G. D. (2017). Energía solar fotovoltaica con conexión a red en la zona central de Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 21*, 35–42.

International Energy Agency. (2025, 5 de agosto). Buildings. International Energy Agency. https://www.iea.org/energy-system/buildings/.

United Nations. (2025, 10 de septiembre). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.* https://sdgs.un.org/2030agenda.

CHARACTERIZATION OF ELECTRICITY CONSUMPTION AND GENERATION ON UNIVERSITY CAMPUSES WITH PHOTOVOLTAIC PLANTS

ABSTRACT: This paper characterizes the energy performance of the Rafaela National University (UNRaf) Campus during the year 2024. Hourly data on energy imported from the grid and generation were analyzed and processed, from which curves of average daily energy generated for each month and the average daily consumption curve for the year 2024 are obtained. The total consumption is obtained by summing the energy imported from the grid and the photovoltaic generation of the analyzed facility. With this value, results are obtained showing that the facility achieved a solar coverage of 7.31%, with a specific yield (Yield) of 1,557 kWh/kWp and an approximate reduction of 5,010 kg of CO_2 during the analyzed period. This demonstrates a positive environmental impact of photovoltaic generation and an advance in the campus energy model.

Keywords: solar energy, energy consumption, distributed generation, records, performance indicators, energy efficiency.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 123-134 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

POZO CANADIENSE EN UNA VIVIENDA UBICADA EN CITY BELL
Desde el proyecto hasta la puesta en funcionamiento

María Belén Birche[1], Julián Carelli Cerdá[2], Jorge Daniel Czajkowski[1]
[1]Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable – Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)
[2]Laboratorio de Investigación Proyectual – Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
e-mail: mariabelen.birche@ing.unlp.edu.ar / jcarelli@fau.unlp.edu.ar

RESUMEN: El objetivo del presente estudio es analizar el funcionamiento de un sistema geotérmico de baja temperatura conocido como pozo canadiense. El mismo se encuentra en una vivienda ubicada en City Bell, provincia de Buenos Aires. Se describe el proyecto y los criterios de diseño de la vivienda, sus sistemas de calefacción y refrigeración junto a sus modos de uso. Se presentan las mediciones de humedad y temperatura registradas durante el verano 2025 utilizando registradores de datos marca HOBO® y mediciones puntuales en otras estaciones. Los resultados muestran que el sistema logra reducir la temperatura del aire alrededor de 7°C en verano.

Palabras clave: Geotermia, Pozo Canadiense, Energías Renovables.

INTRODUCCIÓN

Se estima que la demanda energética de nuestro planeta crecerá a un ritmo medio del 2,4% anual hasta alcanzar los 30.364 TWh en 2030. (Christiansen et al., 2021). A nivel mundial, el funcionamiento de los edificios representa el 30% del consumo final de energía (Delmastro y Chen, 2023). Por su parte, el consumo energético para el calentamiento de espacios y agua representa casi la mitad del consumo energético mundial en edificios (Briens y Martinez-Gordon, 2023). Para reducir el impacto ambiental se vuelve indispensable que toda actividad de desarrollo humano lo considere en sus metodologías y procesos. Por lo tanto, la producción de espacios arquitectónicos, su uso y mantenimiento, requieren especial atención para lograr eficiencia de recursos, resultando necesaria la incorporación de criterios de diseño bioclimático y eficiencia energética desde el proceso proyectual hasta la concreción material del edificio. Una vez reducida la demanda energética del espacio es importante introducir medidas para proporcionar calefacción y refrigeración de bajas emisiones. En este marco, la energía geotérmica se presenta como una alternativa a las fuentes de energía tradicionales. Los campos geotérmicos de baja entalpía están ampliamente distribuidos en nuestro planeta, y son de gran importancia para aplicaciones de uso directo, tales como invernaderos, procesos industriales y calefacción de espacios (Christiansen et al., 2021).

En Argentina existen casos de construcciones de pozos canadienses, como se analiza por Birche et. al en su estudio (Birche et al., 2025) pero no es habitual contar con mediciones de humedad y temperatura. En uno de ellos, (Iannelli y Gil, 2013) se realizó una experiencia de campo en una casa ubicada en Tortuguitas, Provincia de Buenos Aires. Esta casa, cuenta con un intercambiador de calor con tubos de la marca REHAU que no se comercializan en este país. El estudio presenta mediciones de temperatura a la entrada y salida del sistema. Otro antecedente es el del Foro de Viviendas, Sustentabilidad y Energía, con apoyo de la embajada de Alemania, en Bariloche (FOVISEE, 2017). Respecto a este, en las entrevistas se menciona que utilizaron tubos REHAU y que se realizaron mediciones, pero no se encuentran artículos con los resultados de la experiencia. Existe otro antecedente en Argentina donde se construye un pozo canadiense en una vivienda en Olivos, provincia de Buenos Aires (Sticco et al., 2018). A diferencia de los casos anteriores, materializan los tubos del intercambiador de calor con PVC

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

nacional. Térmicamente el sistema logra bajar más de cinco grados la temperatura durante el verano, de acuerdo con una medición puntual y no hay datos respecto a la humedad relativa.

El caso en estudio resulta de un proceso de proyecto, producción, puesta en funcionamiento y medición de un sistema de climatización geotérmica en una vivienda residencial en City Bell, La Plata, Buenos Aires. En los apartados posteriores se describe con mayor detalle el entorno de la vivienda, la vivienda y el pozo canadiense. Además, se presentan las mediciones de humedad y temperatura realizadas. Es importante mencionar que el acceso a datos resulta limitado ya que el proyecto corresponde a una vivienda financiada por los propietarios en la cual habita una familia, sin ser de uso exclusivo para investigación.

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL CLIMA

City Bell se encuentra en el partido de La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina. La ubicación corresponde a la zona bioambiental IIIb de la norma IRAM 11603 (templado cálido). En dicha zona los veranos son relativamente calurosos, con máximas medias mayores que 30°C. El invierno no es muy frío y presenta valores mínimos que rara vez son menores que 0 °C. Esta zona se subdivide en dos subzonas: a y b, en función de las amplitudes térmicas. La subzona IIIb posee una amplitud térmica menor que 14 °C (IRAM 11603, 2011). Según la misma norma la humedad relativa media en invierno es de 83% y en verano de 76,2%, la temperatura máxima de diseño 35,5°C y la temperatura mínima de diseño -2,5°C (IRAM 11603, 2011).

El clima del sitio también fue analizado mediante el procesamiento de los datos meteorológicos de un archivo EPW (EnergyPlus Weather Data File) con el programa Climate Consultant 6.0. Este archivo contiene datos históricos referidos al clima de la localización (temperatura de bulbo seco, velocidad del viento, humedad relativa, entre otros). Los mismos pueden descargarse del Repositorio de datos climáticos gratuitos para la simulación del rendimiento de edificios (Climate.OneBuilding, 2024). Se utilizó el correspondiente a la ciudad de La Plata ya que resulta la ubicación más cercana a City Bell del repositorio. En la Figura 1 se puede observar un mapa de ubicación y datos históricos de la temperatura y humedad relativa media en invierno y en verano.

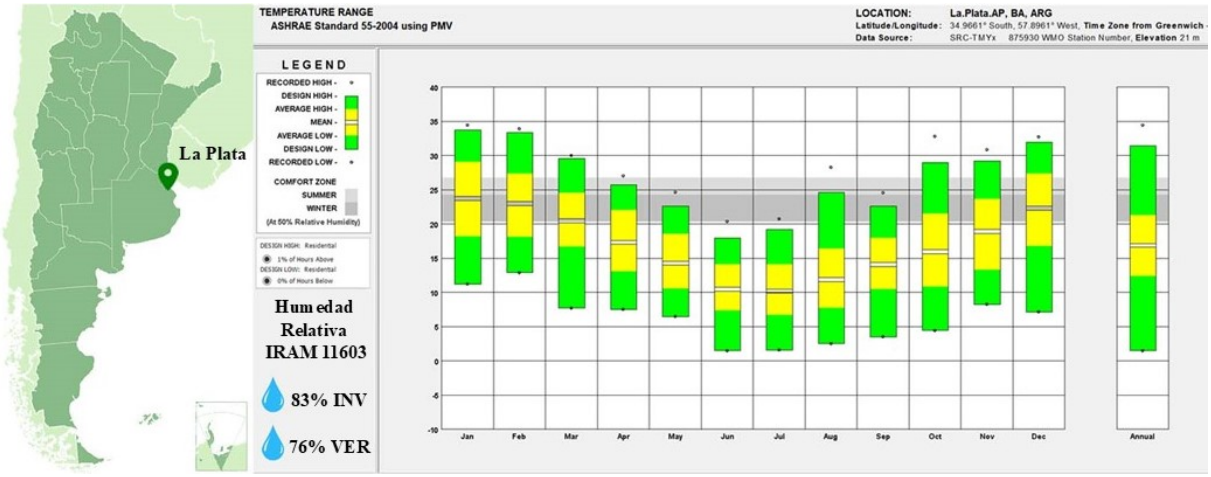


Figura 1: Ubicación y descripción del clima. Fuente: Humedad relativa media: IRAM 11603 (IRAM 11603, 2011). Temperatura: archivo EPW (Climate.OneBuilding, 2024) procesado con el progama Climate Consultant 6.0.

TIPO DE SUELO

Las características del suelo donde se implanta el proyecto de vivienda y se instala el sistema de geotermia es de tipo sedimentario. El mismo es homogéneo y parejo en su desarrollo. El perfil está compuesto por una capa superficial de suelo vegetal, el cual ha sido removido en su totalidad con el fin de lograr mejorar las condiciones de asentamiento de la edificación. En la capa siguiente inferior existen

arcillas expansivas y posteriormente a una profundidad a partir de -2,00 metros de profundidad el suelo es limo arcilloso. Su color es castaño claro. Los valores de conductividad térmica, calor específico y densidad son de gran importancia para el cálculo y dimensionamiento del intercambiador de calor, lo cual no es parte de los objetivos de este estudio. Sin embargo, estos valores pueden consultarse en el estudio de Birche et. al (Birche et al., 2023) ya que en la profundidad de interés los suelos son similares y se adoptaron los mismos valores.

DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

En 2023 se proyecta la vivienda incorporando criterios de diseño pasivo y activo, eficiencia de recursos y energía. Se consideran doce estrategias que de manera conjunta buscan minimizar el impacto ambiental en la construcción y reducir los recursos energéticos necesarios para climatizar el espacio y proporcionar confort en la vivienda. Además, contemplan los requerimientos del propietario y el presupuesto disponible. Las doce estrategias son:

1- Envolventes verticales resueltas con ladrillo hueco eficiente de 27 cm de espesor. Verifica cumplimiento de la transmitancia térmica para el nivel de confort B según la Norma IRAM 11605 (IRAM 11605, 1996).
2- Ruptura de puentes térmicos en toda la envolvente exterior.
3- Carpinterías de con doble vidriado hermético (DVH), marcos de PVC, y cortinas de enrollar con poliuretano inyectado. Verifica cumplimiento de la transmitancia térmica según IRAM 11507 (IRAM 11507-4, 2010)
4- Cubierta y entretecho bajo cubierta aislada con poliuretano inyectado. Verifica cumplimiento de la transmitancia térmica para el nivel de confort B según la Norma IRAM 11605 (IRAM 11605, 1996).
5- Ganancia térmica por radiación solar en los tres dormitorios principales (hay un dormitorio para huéspedes) y estar comedor.
6- Ventilación cruzada en sectores específicos diseñados a tal fin.
7- Sistema de colectores solares para generación de agua caliente en cocinas, baños y lavadero.
8- Sistema de climatización híbrido (pasivo + activo): Sistema pasivo: aprovechamiento geotérmico de baja temperatura con aire filtrado, impulsado e inyectado en área de estar-comedor (se describe con mayor detalle en apartados posteriores). Sistema activo: equipo frío calor Goodman por aire (conductos de distribución por entretecho).
9- Reservorio de agua de lluvia para riego y usos afines.
10- Pulmones bajo pisos en grandes espacios para evitar efectos de las arcillas expansivas y generación de espacios de drenaje de humedad bajo pisos. Prevención de humedad ascendente y aislación térmica en pisos.
11- Protección solar: diseño de aleros y enmarcados en aberturas exteriores de acuerdo con la orientación e impacto de la radiación solar.
12- Diseño de cubiertas para futura colocación de paneles solares fotovoltaicos.

Datos del proyecto arquitectónico:
Destino: Vivienda unifamiliar. Ubicación: City Bell. La Plata
Proyecto de arquitectura y ejecución: Arq. Julián Carelli Cerdá
Proyecto, instalación y puesta en funcionamiento de Pozo Canadiense: Ing. María Belén Birche y Arq. Julián Carelli Cerdá.

La vivienda es una vivienda unifamiliar de 150 m^2. Se desarrolla en una única planta en forma de L, con dos áreas principales, la pública, donde se encuentra el estar comedor con cocina integrada, y la zona privada, donde se ubican los dormitorios unidos por un pasillo. Como nexo, los servicios, incluida la sala de máquinas, dispuesta estratégicamente en el vértice de la L, con el fin de optimizar recursos en las instalaciones termomecánicas, como se muestra en la Figura 2.

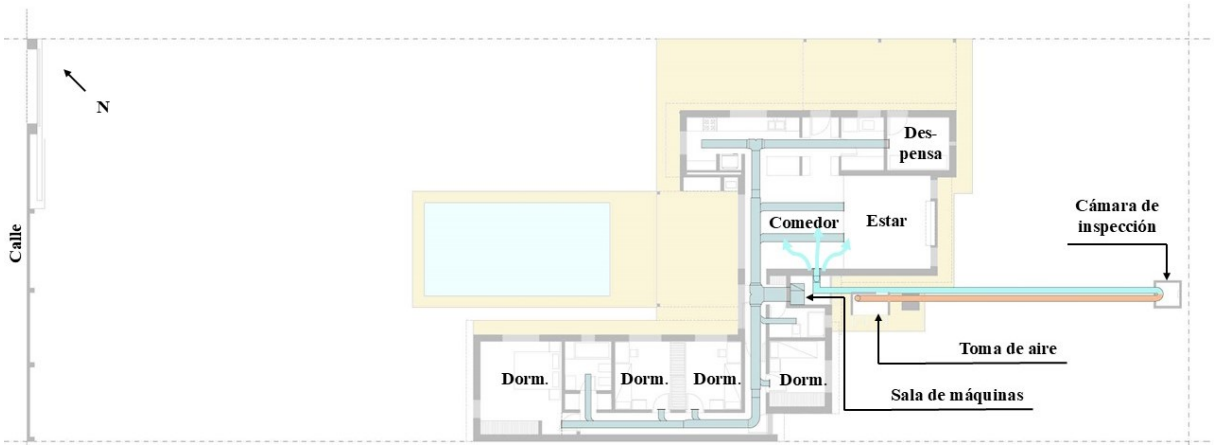


Figura 2: Planta de la vivienda. Distribución de ambientes e instalaciones de aire acondicionado y pozo canadiense. Fuente: Elaboración propia.

Los muros se resolvieron con ladrillos cerámicos huecos de 27 cm de espesor con revoque en ambas caras. El fabricante certifica mediante un informe INTI una transmitancia térmica K= 0,605 W/m^{2}K para el ladrillo con revoque en ambas caras. El valor de la transmitancia térmica máximo admisible Kadm según IRAM 11605 para esa ubicación para un nivel de confort B es K= 0,93 W/m^{2}K en invierno y K= 1,25 W/m^{2}K en verano por lo que verifica ambas condiciones (IRAM 11605, 1996). El espesor de los muros permitió ubicar la estructura de columnas y vigas de hormigón armado hacia el interior y resolver hacia el lado exterior la ruptura de los puentes térmicos de toda la estructura.

La cubierta es de tipo liviana en pendiente resuelta con una estructura metálica. Se compone de chapas trapezoidales en su exterior, aislante térmico de poliuretano expandido de 4 cm de espesor, cámara de aire (mayor a 10 cm de espesor) y cielorraso de yeso de 2 cm de espesor. La transmitancia térmica calculada para este elemento de la envolvente según la norma IRAM 11601 es K = 0,45 W/m^{2}K en invierno y K = 0,44 W/m^{2}K en verano (IRAM 11601, 2002). La transmitancia térmica máxima admisible según IRAM 11605 para esa ubicación para un nivel de confort B es K= 0,76 W/m^{2}K en invierno y K= 0,48 W/m^{2}K en verano por lo cual cumple con ambas condiciones (IRAM 11605, 1996).

Para resolver el piso se quitaron los primeros 30 cm de cubierta vegetal y se rellenaron 40 cm con suelo cal compactado sobre el cual se colocó un film como aislante hidrófugo, placas de poliestireno expandido de alta densidad de 2 cm de espesor en toda la superficie y un contrapiso de 12 cm de espesor. De acuerdo con la norma IRAM 11604 las pérdidas por piso serán Pp = 0,93 W/m y se producirán a través del contorno (IRAM 11604, 2001).

La envolvente se completa con las carpinterías de doble vidriado hermético con vidrio incoloro común y marco de PVC. Además, cuentan con cortinas exteriores enrollables de aluminio con poliuretano expandido inyectado. De acuerdo con la norma IRAM 11507 la transmitancia térmica del conjunto es K = 0,97 W/m^{2}K y el valor máximo admisible es K= 4,00 W/m^{2}K por lo cual verifica (IRAM 11507-4, 2010).

Respecto a los sistemas de calefacción y refrigeración, la vivienda cuenta con dos sistemas independientes entre sí que utilizan como fluido caloportador el aire. Por un lado, un equipo frío calor Goodman centralizado, (Calefactor a gas GMP125-52. Condensadora: GSX130605. Evaporadora: CAPF4860C) que se ubica en la sala de máquinas. Este equipo fue proyectado e instalado por una empresa contratada de forma directa por los propietarios de la vivienda. Los propietarios no cuentan con los manuales para conocer de forma precisa los valores de COP. Sin embargo, no es objeto de este estudio evaluar su funcionamiento. Cuando este equipo funciona en modo refrigeración toma una parte del aire directamente del exterior a través de una toma de aire y otra parte la obtiene recirculando el aire interior. Lo mismo ocurre en modo calefacción. En modo ventilación el equipo recircula el aire interior de la vivienda sin ingreso de aire exterior, de acuerdo con lo informado por la empresa. A partir de allí el aire acondicionado se distribuye hacia cada habitación de la vivienda por medio de conductos

metálicos que se encuentran ocultos en el cielorraso. Además, la vivienda cuenta con un pozo canadiense que se describirá con mayor detalle en el siguiente apartado. El pozo canadiense ingresa aire exterior acondicionado a través de una rejilla en el estar comedor. Luego se logra redistribuir este aire a los restantes ambientes utilizando el equipo Goodman en modo ventilación y el sistema de distribución de aire presente en el cielorraso. Debe destacarse la importancia de contar con una envolvente eficiente para que las ganancias de calor no impidan el refrescamiento logrado por el pozo canadiense. Este modo de operar ambos sistemas fue una decisión de diseño que buscó permitir el funcionamiento de ambos sistemas por separado para evitar inconvenientes con las garantías y definir responsabilidades claras en caso de fallas de alguno de los sistemas. Ambos sistemas son operados por los usuarios, encendiéndose y apagándose de acuerdo con sus necesidades de confort y priorizando la utilización del pozo canadiense por medio de una perilla o de forma remota desde el celular. Para registrar el encendido y apagado del ventilador del pozo canadiense se utilizó un interruptor wifi con una aplicación de registro que permitió conocer estos horarios no cronometrados de uso. Los sistemas no se utilizan de forma simultánea. Cuando el pozo canadiense funciona durante el verano, el equipo Goodman no se coloca en modo frío. Si puede ser utilizado en modo ventilación para recircular.

DESCRIPCIÓN DEL POZO CANADIENSE

Los pozos canadienses son un sistema de aprovechamiento geotérmico de baja temperatura que permite el acondicionamiento del aire intercambiando calor con el suelo. La energía geotérmica de muy baja temperatura basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor, y de mantener una temperatura sensiblemente constante, a lo largo de todo el año, lo cual permite aprovechar los diferenciales térmicos entre el suelo y la atmosfera en las distintas estaciones (Martín Díaz, 2018).

La instalación se compone de cuatro partes principales. La toma de aire o torre de aspiración, por donde ingresa el aire del exterior, un sistema de impulsión del aire, un conducto enterrado que funciona como intercambiador de calor y un sistema de distribución que reparte el aire en toda la vivienda.

La toma de aire consiste en un elemento diseñado para evitar el ingreso de agua, insectos y contaminantes al sistema, como el gas radón y el polvo. Respecto a los contaminantes del sistema, en el artículo inédito aceptado para su publicación de Birche, Carelli y Czajkowski se detallan los contaminantes presentes que deben evitarse, las normativas nacionales e internacionales que deben verificarse, antecedentes de pozos canadienses en Argentina y un análisis de las soluciones disponibles en el mercado nacional. (Birche et al., 2025) Además en el artículo de Birche et al. se mencionan recomendaciones de diseño (Birche et al., 2024).

Respecto al sistema de impulsión, se optó por un sistema de impulsión activo que consiste en un ventilador axial. También existe la posibilidad de utilizar sistemas de impulsión pasivos como las chimeneas solares. La potencia del ventilador debe calcularse de manera de vencer la presión estática de la tubería con una velocidad adecuada para que ocurra el intercambio de calor. Para el cálculo se utilizaron conceptos de la hidráulica básica y las expresiones de Bernoulli. El pozo canadiense posee un consumo energético muy bajo, debido únicamente al ventilador. El mismo podría ser alimentado por un panel solar y funcionar durante el verano independientemente de la provisión de energía, lo cual se vuelve una característica valiosa en un contexto de cortes de suministro.

En el caso en estudio se decidió construir una cabina donde se encuentra la toma de aire, el sistema de filtros de aire, el ventilador, y los sistemas de domótica para el encendido y apagado del equipo de forma remota. La toma de aire se resolvió con piezas de zinguería de diseño y fabricación propia.

Respecto al intercambiador de calor, la profundidad, diámetro y longitud deben calcularse teniendo en cuenta las ecuaciones de intercambio de calor del aire con el suelo. La metodología de cálculo de estas variables se puede encontrar en varios artículos, como el de Conteras Muñoz, Martín Diaz o Birche et. al. (Contreras Muñoz, 2021) (Martín Díaz, 2018) (Birche et al., 2024).

Sin embargo, más allá del cálculo, también deben tenerse en cuenta las limitaciones espaciales, de diseño y de presupuesto para seleccionar la tipología más conveniente. En este caso se diseñó un intercambiador

de calor en forma de U que permitiera acceder a las tuberías por medio de una cámara de inspección. De esta manera es posible acceder desde la toma de aire, desde la salida de aire y desde un punto intermedio para realizar el mantenimiento. Además, en la cámara de inspección se colocó un sistema de drenaje para evacuar los condensados diseñado con una perforación en la U de la tubería y un sistema mecánico para apertura y cierre automático. La cámara tiene dos tapas metálicas a las que luego de observar la condensación que producían en invierno se les colocó aislante. La longitud del intercambiador de calor fue de 13,15 metros desde la toma de aire hasta la cámara de inspección más 14,90 metros desde la cámara de inspección hasta la salida de aire, sumando un total de 28,05 metros. Las tuberías seleccionadas fueron de PVC de 25 centímetros de diámetro. El material se seleccionó de acuerdo con lo analizado por Birche, Carelli y Czajkowski en su artículo (Birche et al., 2025).

En este caso la excavación se realizó con una retroexcavadora, como se observa en la Figura 3, a una profundidad de 2,33 m respecto al nivel del terreno natural en la parte más superficial, con una inclinación hacia el drenaje de 1-2% y una profundidad máxima de 2,50 m.

Hacia el final del intercambiador del calor, la tubería se eleva hasta los dos metros de altura sobre el nivel del piso en el interior de la sala de máquinas. Allí la tubería cuenta con una conducto flexible que permite el acceso para mantenimiento y un aislante de lana de vidrio para evitar pérdidas en el aire térmicamente tratado, como se observa en la Figura 4. Luego el aire ingresa al estar comedor a través de una rejilla rectangular. El sistema de distribución de aire acondicionado se dimensiona siguiendo la metodología propuesta por Quadri en su libro de instalaciones (Quadri, 2014).

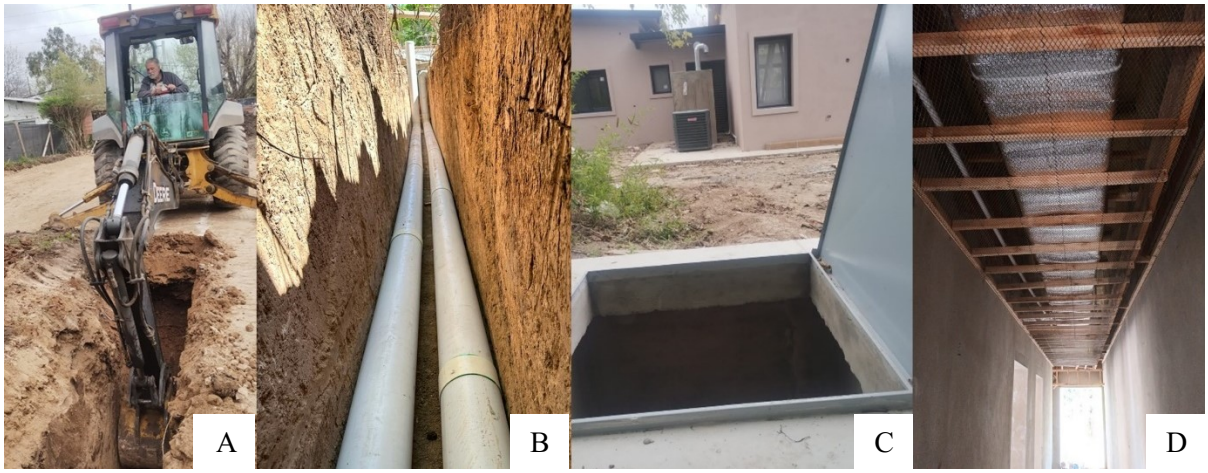


Figura 3: Construcción del pozo canadiense. A: retroexcavadora realizando la zanja. B: tuberías del intercambiador de calor. C: cámara de inspección y la toma de aire en el fondo. D: conductos de distribución en el cielorraso.

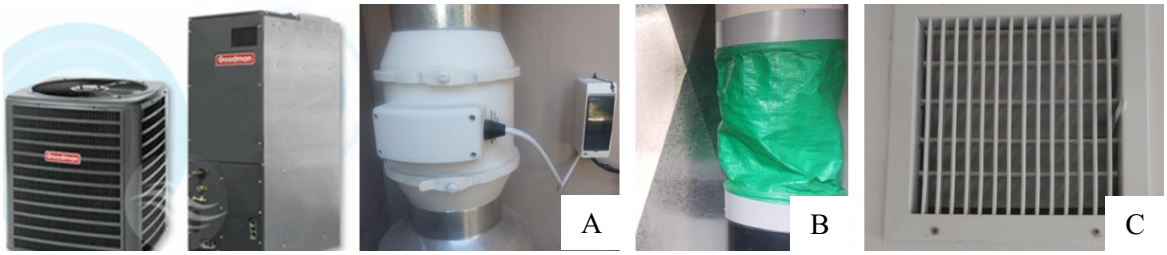


Figura 4: Elementos del pozo canadiense. A: equipos de impulsión y automatización. B: manga flexible (sin el aislante para poder observarla). C: rejilla del pozo canadiense.

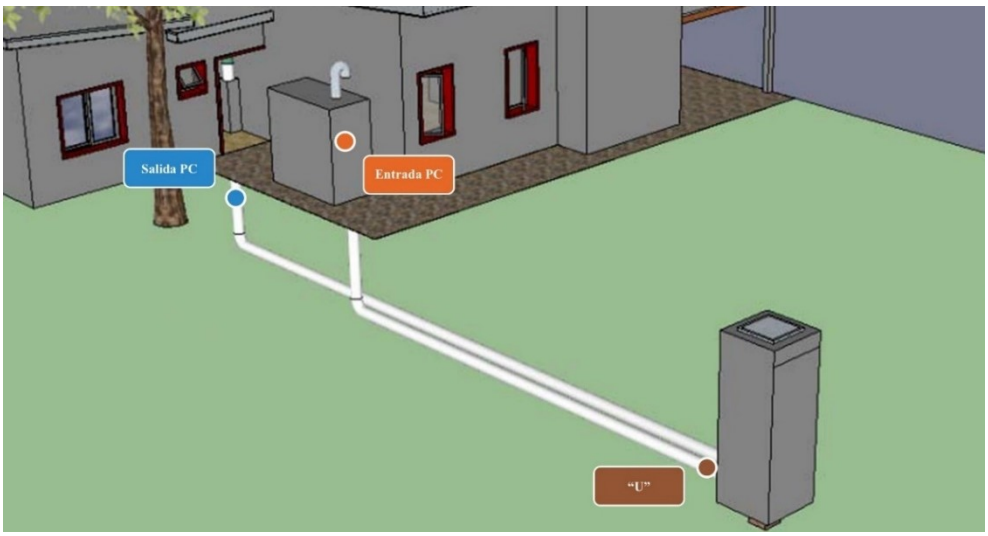


Figura 5: Pozo canadiense en la vivienda en estudio: cabina para toma de aire e impulsión, intercambiador de calor, cámara de inspección y sala de máquinas. Ubicación de sensores HOBO®. Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Para medir la temperatura y humedad relativa se utilizaron registradores de datos marca HOBO®, modelo U12-001. Las mediciones se realizaron durante el verano del presente año, desde el 15 de febrero del 2025 hasta el 12 de marzo del 2025 con intervalos de diez minutos. Además, se registró el horario de encendido y apagado del ventilador por medio de un interruptor Wifi y la aplicación Ewelink. Los usuarios, de acuerdo a sus necesidades de confort y priorizando la utilización del pozo canadiense fueron decidiendo los momentos de encendido y apagado de los equipos, ya sea de forma manual (perilla) o remota (desde el celular). No se pudo registrar el horario de encendido y apagado del equipo Goodman ya que la garantía del equipo no permitía incorporar el interruptor Wifi ni ningún otro dispositivo. Por lo tanto, se comunicó a los usuarios la importancia de no utilizar en forma simultánea el pozo canadiense y el equipo Goodman en modo frío para no alterar las mediciones.

Se colocaron registradores en la entrada de aire del pozo canadiense, en el medio del recorrido (U) accediendo por la cámara de inspección y en el tramo final del pozo canadiense al cual se accedió por medio de una manga flexible, como se puede observar en la Figura 5. Se registró la temperatura y humedad en el estar comedor y en una de las habitaciones de la vivienda. No se registró la temperatura exterior debido a los riesgos de hurto del instrumental del laboratorio. Se obtuvieron datos de temperatura y humedad relativa exterior del proyecto de Predicción de Recursos Energéticos Mundiales (POWER) del Centro de Investigación Langley de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), financiado a través de la División de Ciencias de la Tierra de la NASA. Los datos se obtuvieron de la versión Hourly v2.5.11 del Proyecto POWER en 2025/08/03 y se graficaron con líneas punteadas (*NASA POWER | Data Access Viewer (DAV)*, 2025). Los resultados de lo anteriormente mencionado se muestran en las siguientes figuras 6, 7, 8 y 9.

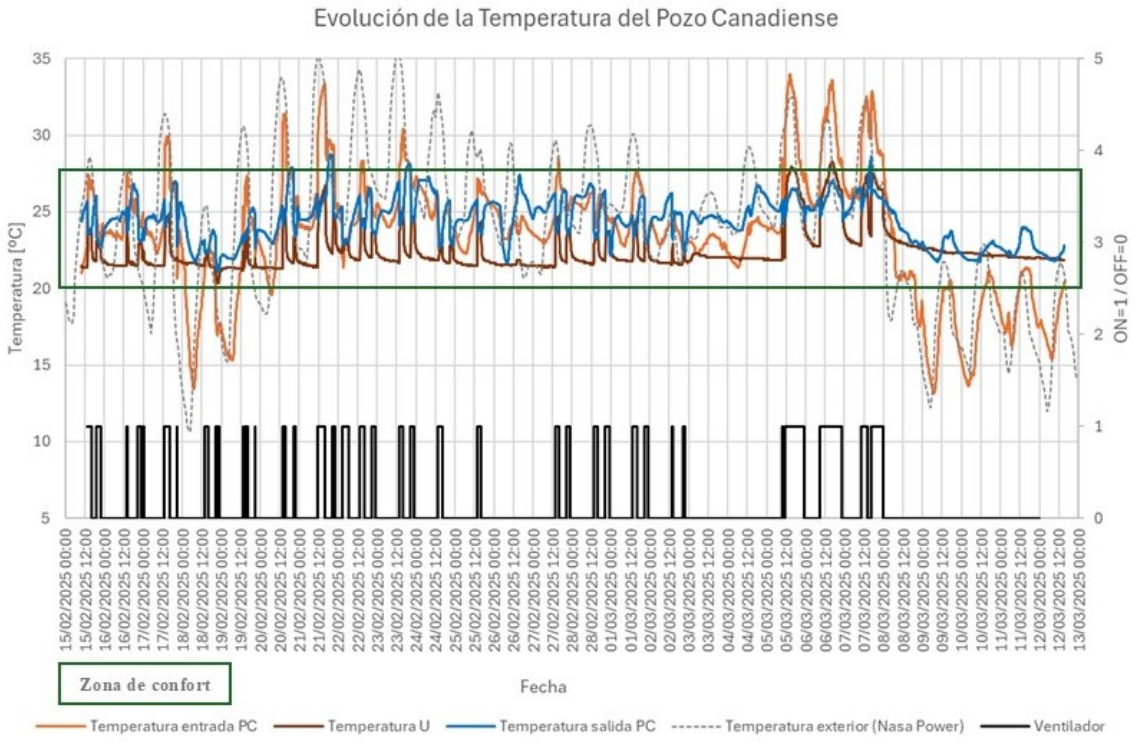


Figura 6: Evolución de la temperatura del pozo canadiense. Fuente: Elaboración propia.

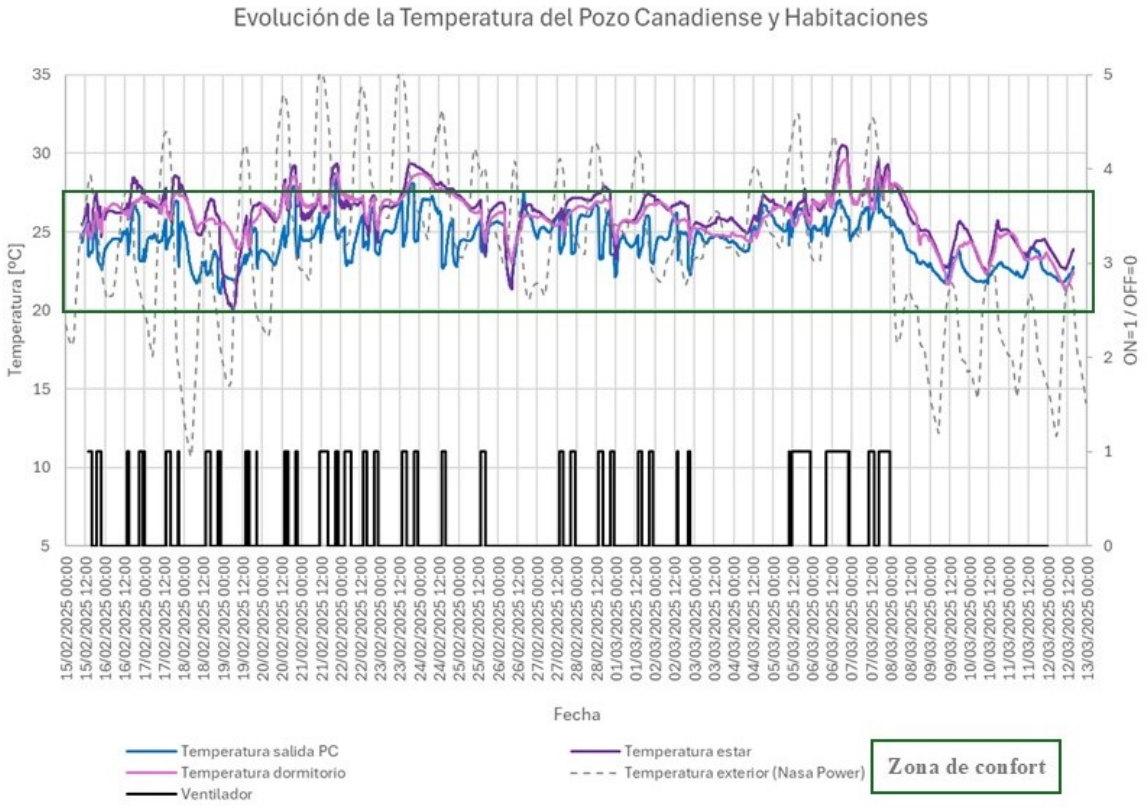


Figura 7: Evolución de la temperatura a la salida del pozo canadiense y habitaciones. Fuente: Elaboración propia.

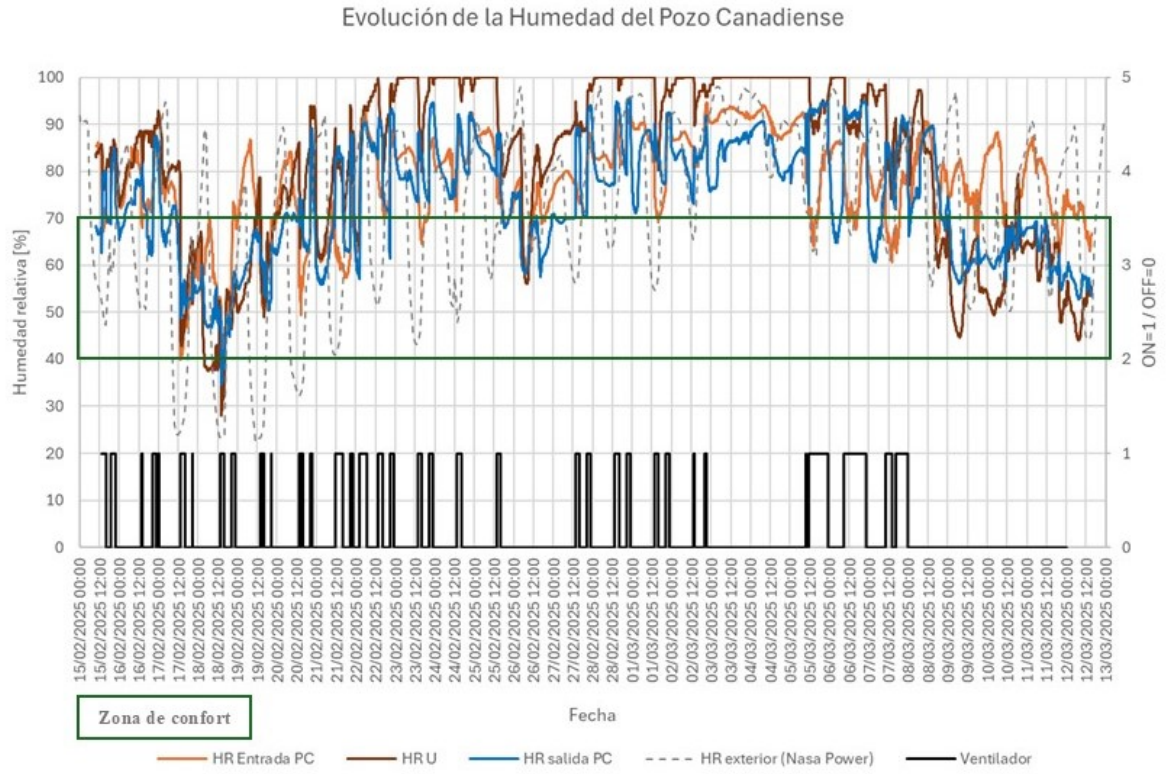


Figura 8: Humedad relativa en el pozo canadiense. Fuente: Elaboración propia.

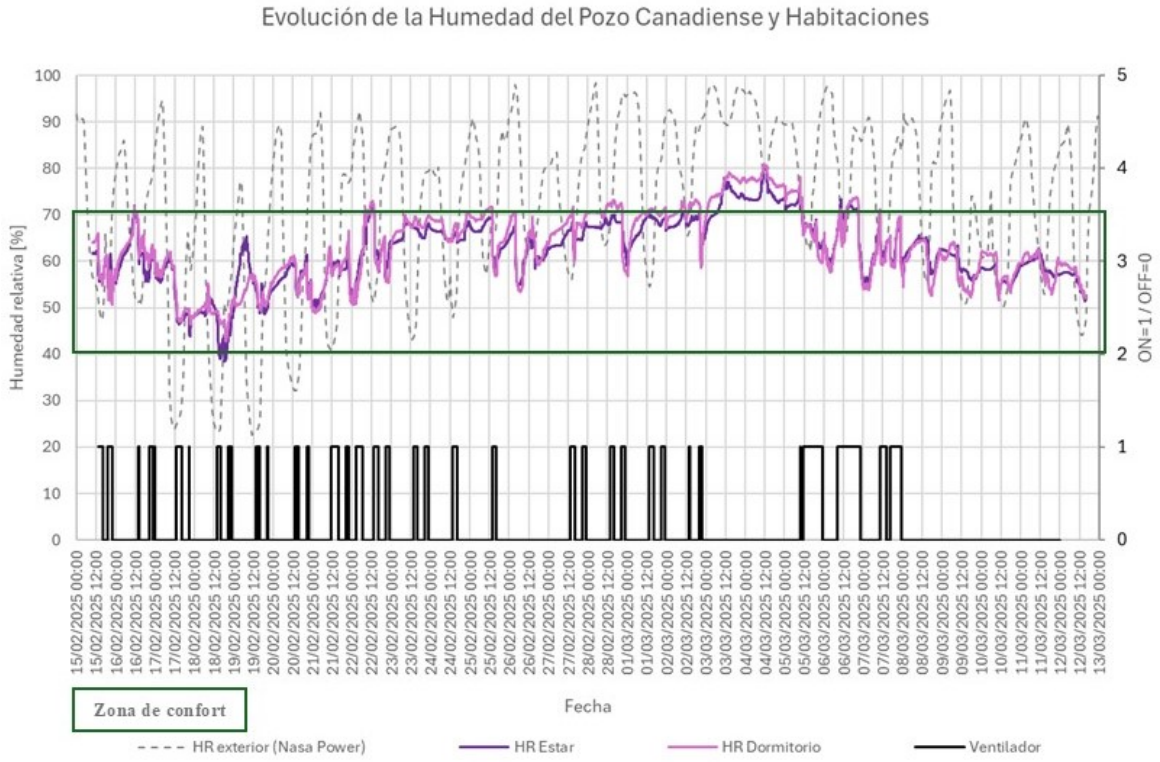


Figura 9: Humedad relativa en Habitaciones. Fuente: elaboración propia.

También se realizaron mediciones de temperatura en primavera en el momento de la excavación (Figura 10A)) y mediciones de temperatura y humedad puntuales durante el invierno (Figura 10B). Para ello se utilizó un termómetro digital con sonda y un anemómetro digital. Se presentan solo a nivel informativo

y cualitativo, ya que no se pueden inferir conclusiones respecto a estos pocos registros. Se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 7.

Primavera 07/10/23 – 11.30hs
Exterior: 24,3°C
Pozo abierto: 16,2°C

Invierno 25/06/24 – 9.30hs
Exterior: V. del aire 5,3 m/s Temp. 7,6°C HR 60%
Interior: V. del aire 1,9m/s Temp. 15,2°C HR 45%

Figura 10: Mediciones puntuales de humedad y temperatura. Fuente: Elaboración propia.

Para tener en cuenta la percepción de los usuarios se realizó una breve encuesta respecto al funcionamiento del pozo canadiense en invierno y en verano (Figura 11). Es importante aclarar que solo pudieron entrevistarse dos usuarios ya que la vivienda es un proyecto privado donde vive una familia, no es un modelo realizado con el fin exclusivo de investigación. Se obtuvieron los siguiente resultados:

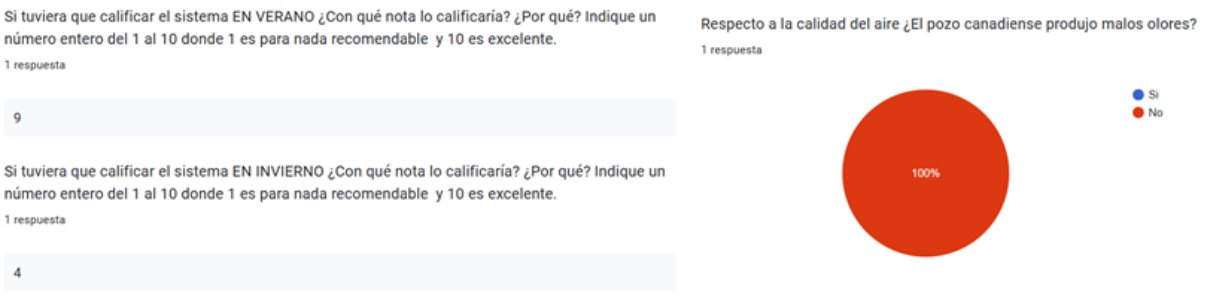


Figura 11: Preguntas y respuestas del formulario realizado a los usuarios. Fuente: Elaboración propia.

Dado que el usuario no desarrolló su respuesta en el formulario, envió un audio comunicando lo siguiente:

“El pozo canadiense está muy bueno en el verano. (…) Lo que estaría bueno para aprovecharlo mucho mejor es poder distribuir ese aire en toda la casa sin tener que prender un equipo como el Goodman que tenemos nosotros para que llegue a toda la casa. (…) lo que necesita es algo que lo haga recircular, sino solo llega al living. (...) A nosotros nos funciona perfecto porque tenemos el equipo ese de recirculado. Y en el invierno la verdad que no lo usamos, porque esa temperatura nos resulta fría. (…) Ponemos al Goodman en calefacción y nos gusta en 19°C – 20°C (…).”

Además, el otro usuario de la vivienda manifiesta la misma percepción agregando que le gustaría contar con más pozos canadienses para el resto de las habitaciones y así poder prescindir del equipo de recirculado. Sin embargo, la instalación de ese sistema posee un costo que en su momento no se pudo afrontar.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Antes de analizar los resultados, resulta importante mencionar que solo cuando el pozo canadiense se encuentra encendido se puede asegurar que el equipo Goodman no está funcionando en modo frío (si puede estar recirculando el aire en modo ventilación). Del gráfico de la figura 6, se puede afirmar que el pozo canadiense logra disminuir la temperatura del aire durante su recorrido desde la entrada hasta la salida. Si se observan los días de mayor uso (del 5 de marzo al 8 de marzo) esta reducción es de aproximadamente 7°C. El día 5 de marzo a las 14:30 horas se registraron 33,96°C a la entrada del pozo y 26,16°C a la salida del pozo canadiense, con una reducción de 7,80°C. Respecto a la temperatura del estar y el dormitorio, que se puede observar en la figura 7, el día 5 de marzo alcanza temperaturas similares a las de la temperatura de salida del pozo canadiense mientras que los días siguientes se observa una diferencia de un par de grados. El día 6 de marzo a las 16:20 horas se registraron 33,63°C a la entrada del pozo, 26,99°C a la salida, en el estar 30,02°C y en la habitación 28,84°C. Del gráfico de la figura 6 también se puede observar que cuando el pozo canadiense tiene el ventilador apagado, la temperatura en el medio del recorrido "U" se estabiliza alrededor de los 22°C. Este valor resulta mayor al previsto en el cálculo teórico presentado en (Birche et al., 2024). Esto indica que posiblemente se pueda lograr una reducción de la temperatura mayor aumentando la longitud del intercambiador de calor. La longitud de cálculo del intercambiador fue mayor a la longitud construida, pero por razones de presupuesto, de diseño e intereses de los propietarios se decidió realizarlo de esa manera a expensas de un menor rendimiento.

Respecto a la humedad relativa, en la figura 8 se puede observar que en el medio del recorrido "U" se alcanza la saturación, lo cual explica la diferencia entre las curvas a la entrada y a la salida del pozo canadiense. También se pudo verificar la presencia de condensación en la U al momento de colocar y retirar los aparatos de medición. Por lo tanto, el aire que sale del pozo canadiense posee menor humedad específica que el aire de ingreso. Un aspecto para considerar en la lectura de los resultados es que el tramo desde la "U" hasta la salida del pozo canadiense posee la pendiente del conducto contraria a la dirección del aire cuando el pozo se encuentra encendido, por lo que es probable que, en caso de que se produjera, el agua escurra al apagarlo. En la "U" el drenaje colecta la condensación producida por el enfriamiento del aire. En la figura 9 se observa que la humedad relativa de las habitaciones se encuentra por debajo de la humedad relativa a la entrada y a la salida del pozo canadiense. Una medida que podría complementar al pozo canadiense para acercarse a la zona de confort es la elección de muros absorbentes para regular la humedad relativa interior, como los muros de adobe. También resultará necesario hacer uso de la ventilación cruzada para regular la humedad relativa interior.

CONCLUSIONES

El pozo canadiense logra reducir la temperatura del aire alrededor de 7°C en verano. En invierno, las mediciones puntuales y calificaciones del usuario evidencian un comportamiento más lejano al confort, sin embargo, hace falta continuar con las mediciones y presentarlas en futuros estudios. Respecto a la humedad relativa, el sistema produce agua de condensación y una menor humedad específica en el aire de salida. En verano, incorporando más metros de intercambiador de calor y rejillas de salida en la vivienda, podría ser posible que el sistema funcione sin la necesidad del equipo Goodman, debido a su buen funcionamiento en refrigeración.

Referencias y bibliografía

Birche, M. B., Carelli Cerdá, J. y Czajkowski, J. D. (2025, diciembre). Construir un pozo canadiense en Argentina. Análisis de alternativas para lograr una adecuada calidad del aire. *Estudios del Hábitat*. https://revistas.unlp.edu.ar/Habitat/issue/archive

Birche, M. B., Czajkowski, J. D. y Ferrer Tevar, J. A. (2023). *Geotermia de baja entalpía aplicada a una vivienda unifamiliar sustentable en Brandsen*. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/150667

Birche, M. B., Czajkowski, J. D. y Ferrer Tevar, J. A. (2024). *Geotermia de baja entalpía aplicada a una vivienda unifamiliar sustentable en Brandsen: dimensionamiento de intercambiador de calor tierra-aire (pozo canadiense o provenzal)*. https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/12164

Briens, F. y Martinez-Gordon, R. (2023). *Heating*. International Energy Agency. https://www.iea.org/energy-system/buildings/heating

Christiansen, R. O., Clavel, F., Gonzalez, M., García, H. P. A., Ortiz, D. A., Ariza, J. P., Martinez, M. P. y Wohnlich, S. (2021). Low-enthalpy geothermal energy resources in the Central Andes of Argentina: A case study of the Pismanta system. *Renewable Energy*, *177*, 1234-1252. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.065

Climate.OneBuilding. (2024). *Repository of free climate data for building performance simulation*. Climate.OneBuilding. https://climate.onebuilding.org/default.html

Contreras Muñoz, R. A. (2021). *Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica (TUE ALI)*. Universidad de Belgrano.

Delmastro, C. y Chen, O. (2023). *Buildings*. International Energy Agency. https://www.iea.org/energy-system/buildings

FOVISEE. (2017). *Geotermia. Un proyecto de investigación aplicada para climatizar viviendas populares con la temperatura de la tierra.* FOVISEE. https://fovisee.org/proyectos/energias-renovables-y-vivienda-popular/

Iannelli, L. y Gil, S. (2013). *Acondicionamiento Térmico de Aire mediante el uso de Energía Geotérmica* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23586.27841

IRAM 11605 Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos., 27 (1996).

IRAM 11604 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., 36 (2001).

IRAM 11601 Aislamiento térmico de edificios: métodos de cálculo., 53 (2002).

IRAM 11507-4 Carpintería de obra y fachadas integrales livianas, 12 (2010).

IRAM 11603 Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina, 43 (2011).

Martín Díaz, S. (2018). *El terreno como intercambiador* [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/49966/1/TFG_Martin_Diaz_Sergio.pdf

NASA POWER | Data Access Viewer (DAV). (2025, agosto 3). https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

Quadri, N. P. (2014). *Instalaciones de aire acondicionado y calefacción* (11.ª ed.). Alsina.

Sticco, M., Lemos, M. C. y Barredo, S. (2018). *Aplicación de la energía geotérmica de muy baja entalpía para climatización. Un caso de estudio en la localidad de Olivos, Pcia. de Buenos Aires*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25612.77448

CANADIAN WELL IN A HOUSE LOCATED IN CITY BELL FROM DESIGN TO OPERATION PHASE

ABSTRACT The purpose of this study is to analyze the operation phase of a low-temperature geothermal system known as Canadian well. It is in a house in City Bell, Buenos Aires province. The project and design criteria of the house, its heating and cooling systems, and their modes of use are described. Humidity and temperature measurements recorded during the summer of 2025 using HOBO® data loggers are presented and specific measurements at other stations. The results show that the system is able to reduce the air temperature by around 7°C in summer.

Keywords: Geothermal energy, Canadian Well, Renewable Energy.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 135-145 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

MEDIDAS DE BAJO COSTO PARA AHORRAR ENERGÍA EN INVIERNO: PLÁSTICO CON BURBUJAS

Pablo Romero[1,2], Jorge Fiora[1,2], Pedro Cozza[1], Luciana Oddo[1], Hernán Baulo Darhanpe[1], María E. Corso[1], Italo Bove Vanzulli[3], Salvador Gil[2]

[1]Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Eficiencia Energética. Buenos Aires, Argentina.
[2]ECyT- Universidad Nacional de San Martín (UNSAM). San Martín, Buenos Aires, Argentina.
[3]Universidad de la República (Udelar), Fac. de Ingeniería, Laboratorio de Energía Solar. Uruguay.
E-mail: sgil@unsam.edu.ar

RESUMEN: Este artículo explora cómo reducir el consumo de calefacción en viviendas mediante soluciones simples, accesibles y de bajo costo. En Argentina, cerca del 50 % de consumo energético residencial o sea cerca del 12 % del consumo energético total, se destina al acondicionamiento térmico de edificios. En el sector residencial, la calefacción representa el principal gasto energético, en la mayoría de los hogares. Mejorar el aislamiento térmico es clave para reducir los costos de las facturas y las emisiones. En este estudio se analiza el uso de *plástico con burbujas* o *plástico alveolar* aplicado a ventanas y superficies de vidrio, como una opción económica para mejorar la eficiencia térmica. Para ello, se realizaron dos ensayos experimentales que muestran cómo esta técnica puede disminuir significativamente la transmitancia térmica del vidrio. Aunque no iguala el rendimiento de una ventana de doble vidrio, ofrece una solución intermedia muy económica, ideal para mejorar el confort térmico en invierno.

Palabras claves: eficiencia energética, materiales aislantes, bajo costo.

INTRODUCCIÓN: CONSUMO DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN

En Argentina, la calefacción es el principal consumo energético de los hogares. Durante el invierno, la demanda de gas puede quintuplicar la del verano, lo que refleja su enorme peso en el sistema energético. Como se observa en la Figura 1, cerca del 12 % de la energía total del país se destina al acondicionamiento térmico de interiores (calefacción y refrigeración). Este porcentaje varía según la región, el clima, el tipo de vivienda y su nivel de eficiencia.
En el sector residencial, la calefacción domina ampliamente, sobre todo en los hogares conectados a la red de gas natural. Durante el invierno, uno de los principales desafíos en viviendas y edificios es mantener el confort térmico, disipando la menor cantidad de energía posible. A través de las ventanas se producen pérdidas de calor tanto por transmisión, a través de los vidrios y marcos, como por infiltraciones de aire en las juntas. En este estudio analizamos el uso de plástico con burbujas para mejorar el aislamiento térmico de ventanas y otras superficies de vidrio, con el objetivo de reducir el consumo de calefacción y, en consecuencia, los gastos energéticos de los usuarios.

Dado el impacto económico y ambiental del consumo para calefacción, es fundamental adoptar medidas que promuevan un uso más racional y eficiente de la energía. Esto no solo ayuda a reducir las facturas del hogar, sino que también contribuye a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el caso del acondicionamiento térmico, los consumos no solo dependen del equipo, sino también del ***tamaño del solar***, el ***lugar geográfico*** donde se encuentra, el tipo de ***envolvente*** (paredes, techos, ventanas, puertas, etc.), del ***diseño de la vivienda***, su ***orientación,*** su ***entorno o ubicación***; que son

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

partes estructurales de una vivienda y finalmente de los ***equipos*** de calefacción y refrigeración (Zavalia Lagos, Iannelli, & Gil, 2020).

Ahora bien, en una vivienda ya construida, es poco lo que se puede hacer para mejorar el entorno o el diseño y menos aún la geografía. En cuanto a la envolvente se pueden mejorar sus características (aislación térmica) pero su costo es elevado y requiere de trabajo que puede llevar varias semanas o meses. Lo mismo puede decirse de un cambio de los sistemas de calefacción o refrigeración. Si se instala piso radiante o radiadores de agua caliente, la intervención en la vivienda es muy significativa y costosa. Desde luego, mejorar todas estas características en una vivienda nueva, es muy diferente de hacerlo en otra ya construida.

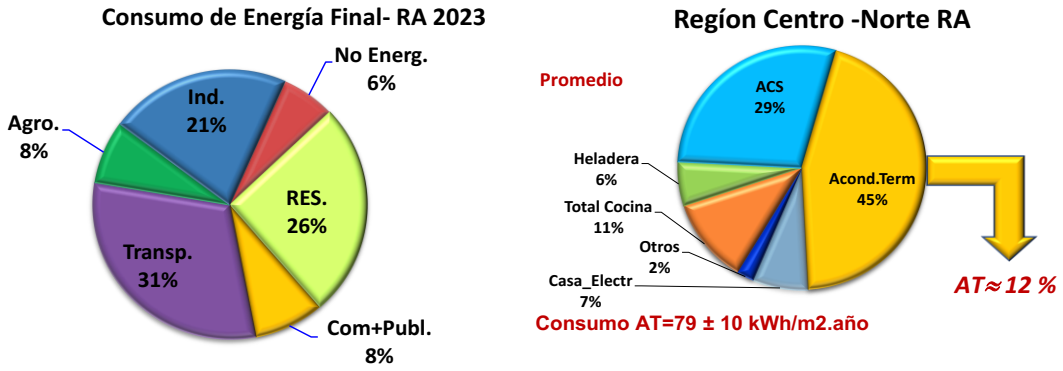


Figura 1: Consumo de energía en Argentina (2023). Izquierda: distribución por sectores (residencial, comercial/público y no energético, este último como materia prima en manufacturas). Derecha: desglose del consumo residencial, destacándose el acondicionamiento térmico, agua caliente sanitaria (ACS), cocción y otros usos. (Argentina.gob.ar, 2024)

En este trabajo nos enfocamos en identificar medidas simples y de bajo costo que permitan reducir el consumo de calefacción en invierno y aliviar el gasto energético de las familias. En particular, evaluamos el uso de plástico de burbujas (*bubble wrap*) aplicado sobre las ventanas (*Figura 2*), aprovechando su capacidad de actuar como aislante térmico.

Figura 2: A) Plástico de burbujas o plástico alveolar para aislar las ventanas en el invierno o todo el año (izq). B) Forma de colocación (centro) y C) resultado final (der.). (Gil, 2023)

Se trata de una técnica simple para aislar ventanas, que puede utilizarse durante el invierno o de forma permanente a lo largo del año. Es compatible con cortinas, persianas o postigos, y también puede aplicarse en ventanas de formas irregulares, en las que reemplazarlas por nuevas con DVH podría no ser viable. Este método resulta especialmente útil en ventanas que dan a espacios interiores donde se requiere iluminación natural, pero no es imprescindible mantener una visión nítida hacia el exterior. En general, no afecta significativamente la luminosidad de los ambientes.

Para evaluar su efectividad, se realizaron dos ensayos experimentales distintos, destinados a cuantificar los cambios en la *transmitancia térmica* del vidrio tras aplicar este material. Los resultados muestran que, aunque no alcanza el rendimiento de una ventana de doble vidrio, el plástico de burbujas puede mejorar significativamente la capacidad aislante de una ventana común, representando así una solución intermedia de bajo costo y fácil implementación. Adicionalmente se evaluaron sus características frente a la inflamabilidad dando como resultado un material altamente combustible, que no debe ser utilizado cerca de fuentes de alta temperatura o llamas abiertas.

Para terminar, se presentan además otras acciones sencillas y de bajo costo que también contribuyen en la dirección de reducir los consumos de energía destinada a calefacción sin modificar sustancialmente el confort.

ENSAYOS EXPERIMENTALES: TRANSMITANCIA TÉRMICA DE VIDRIO SIMPLE CON PLÁSTICO DE BURBUJA

Con el objetivo de cuantificar la transmitancia térmica del plástico de burbuja de uso comercial, se llevaron a cabo dos ensayos independientes, cuyos detalles se discuten en los Anexos 1 y 2 de este trabajo. Los resultados encontrados se resumen en la *Tabla 1*. En particular, se observa que aplicado a una placa de vidrio simple, de unos 4 mm de espesor, reduce su transmitancia en un factor promedio de 24,5 ± 2,5 % respecto del vidrio simple solo.

Tabla 1: *Resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados. Ver Anexos 1 y 2. La segunda columna indican los valores de la Transmitancias en W/(m^2.K) por los dos ensayos realizados. PconB significa plástico con burbujas.*

Experimento 1		
	U (W/(m^2.K))	**Mejora**
Vidrio Simple (4 mm)	**6,8**	**0 %**
Vidrio Simple +*PconB*	**5,3**	**22 %**
Vidrio Doble	**3,1**	**54 %**
Experimento 2		
	U (W/(m^2.K))	**Mejora**
Vidrio Simple (4 mm)*	**5,68**	**0 %**
Vidrio Simple +*PconB**	**4,13**	**27 %**
Vidrio Doble *	**2,50**	**56 %**
*** Resultado inferido de las mediciones**		

Por otra parte, si se usa un sistema de vidrio doble formado sencillamente por dos vidrios simples de 4 mm separados por 9 mm de aire reduce su transmitancia en alrededor de 55 ± 1 % respecto de un vidrio simple. Por ende, la reducción de la transmitancia usando plástico con burbujas en cerca de un 24,5 ± 2,5 % es una reducción importante, sobre todo si se tiene en cuanta su bajo costo, la facilidad con que se aplica y la simplicidad en remover. Estos resultados son similares al obtenido por otros autores (Munjal & y otros, 2015), (Tsikaloudaki & y Otros, 2014).

Sin embargo, es preciso señalar que el *plástico alveolar*, es un material combustible, por los que es necesario tener precauciones donde y como se usa. Más detalles se discuten en el Anexo 3.

Aplicación de plástico de burbujas

Las ventanas comerciales de doble vidrio hermético (DVH) se construyen con dos paneles de vidrio separados por una cámara de aire o gas inerte deshidratado (Ar o Kr) y sellada herméticamente, para reducir la transferencia de calor y en algunos casos tienen filtros especiales para reducir la radiación transmitida. Generalmente, tienen perfil separador donde se encuentra un material desecante (como sales higroscópicas) que absorbe la humedad residual y evita la condensación en el interior de la cámara. Estas ventanas son altamente eficientes, con una transmitancia térmica entre 3 y 3,5 veces menor que el

vidrio simple. Sin embargo, su alto costo (alrededor de 350 ± 150 USD/m^2 por ventana incluyendo carpintería, en Argentina) y la complejidad de instalación las hacen poco accesibles para viviendas ya construidas.

Como alternativa, el plástico de burbujas permite emular el efecto de una ventana DVH con un costo muy bajo (menos de 1 a 2 USD/m^2). Se puede usar todo el año, incluso con cortinas o persianas, y es ideal para ventanas de formas irregulares.

La visibilidad a través del plástico es difusa, pero deja pasar la luz, por lo que es ideal para baños, patios internos o ambientes donde no se requiera una vista clara.

Instrucciones de instalación:

- Cortar el plástico del tamaño del vidrio.
- Rociar la superficie con agua (opcionalmente con unas gotas de detergente).
- Aplicar el lado liso del plástico contra el vidrio y presionar suavemente.
- Recortar los bordes excedentes.
- Si es necesario, fijar con cinta de doble faz.
- Para retirarlo, despegar desde una esquina. Es reutilizable.

Puede colocarse en otoño y retirarse en primavera. Su vida útil es de 4 a 5 años con buen mantenimiento (Gil, 2023).

Ventajas del plástico de burbujas:

- Mejora el aislamiento térmico.
- Fácil de aplicar y quitar: sin dañar el vidrio ni dejar residuos.
- Económico y reutilizable: rápida amortización.
- Compatible con persianas y cortinas.
- Ideal para ventanas sin uso frecuente o sin vista a paisajes especiales.

Inflamabilidad del plástico de burbujas

Se realizaron, además, ensayos de inflamabilidad al material, siguiendo las normas IRAM INTI-CIT G7577:91 y ASTM D6413, y se encontró que el plástico de burbujas comienza a fundirse a los 200 °C y se enciende a aproximadamente 500 °C. La presencia de aire atrapado en las burbujas puede incluso favorecer la combustión, por lo cual esta solución no debe ser aplicada en lugares donde el material pueda ser expuesto a fuentes de alta temperatura o llama directa, o bien que pueda caerse sobre una fuente de iguales características. Este tipo de precauciones es común a la mayoría de los materiales aislantes y las telas para cortinas más comunes. Si bien existen versiones de este plástico con burbujas que presentan aditivos retardantes de llama, no son de uso tan común.

OTRAS MEDIDAS DE BAJO COSTO PARA AHORRAR CALEFACCIÓN EN INVIERNO

Varias auditorías energéticas realizadas en viviendas de Argentina (Zavalia Lagos, Iannelli, & Gil, 2020) y otros países (DOE- USA, 2020) muestran que es posible reducir el consumo y mejorar el confort térmico con medidas simples y de bajo costo, sin necesidad de grandes inversiones (Iannelli & Gil, 2022). Gran parte de las pérdidas de calor se deben a infiltraciones de aire, que pueden representar entre el 30 % y el 60 % del consumo en calefacción y refrigeración (ver Figura 3). Atender este problema es una de las formas más efectivas de ganar eficiencia.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones prácticas para ahorrar energía, reducir gastos y mantener la vivienda confortable en invierno (Navarrete Boutaud, 2016):

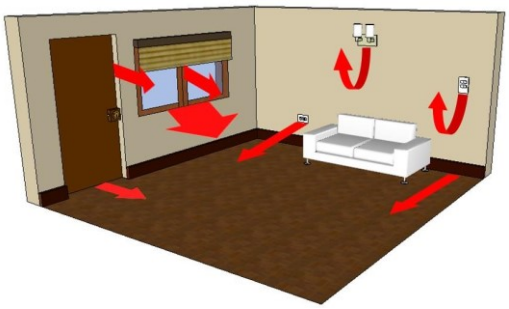


Figura 3: Esquema de infiltraciones de aire por puerta, ventana, luces, enchufe y zócalo (Navarrete Boutaud, 2016)

- ✓ **Evitar infiltraciones de aire**: Revisar puertas, ventanas, taparrollos, enchufes, luces empotradas, zócalos y juntas con el piso.
- ✓ **Colocar burletes**: Instalar o renovar burletes en puertas y ventanas (ver Figura 4).
- ✓ **Aprovechar el sol en invierno**: Abrir cortinas orientadas al norte para calentar los ambientes de forma natural. En verano, mantenerlas cerradas para evitar sobrecalentamiento.
- ✓ **Usar cortinas, persianas o postigos**: Cerrarlos de noche disminuye el intercambio térmico; cerrar puertas internas ayuda a conservar el calor en los espacios ocupados.
- ✓ **Preparar la vivienda según la estación:** En ventanas poco usadas, aplicar láminas plásticas como aislamiento adicional ("winterizing").
- ✓ **Ajustar el termostato:** Mantener la temperatura en 20 °C durante el día y bajarla a 18 °C por la noche (Romero & Otros, 2024).
- ✓ **Climatizar solo los ambientes ocupados**: Evita pérdidas de energía innecesarias hacia el exterior.

Figura 4: Ejemplo de diferentes tipos de burlete, izquierda en ventana y derecha en puertas.

CONCLUSIONES

Este artículo muestra cómo reducir el consumo de calefacción en viviendas mediante algunas soluciones simples y económicas, como la aplicación de plástico de burbujas en ventanas. Dado que el acondicionamiento térmico representa cerca del 50 % del consumo energético residencial, mejorar el aislamiento es clave para disminuir gastos y emisiones. Los ensayos realizados indican que el plástico alveolar puede reducir significativamente la transmitancia térmica de los vidrios, logrando un confort térmico superior en invierno, especialmente en hogares con recursos limitados. Nuestro estudio indica que es posible reducir la transmitancia de un vidrio simple en alrededor del 24,5 ± 2,5 % mediante el uso de un plástico de burbuja aplicado sobre mismo. Si bien no reemplaza el rendimiento de una ventana de doble vidrio, ofrece una alternativa intermedia de muy bajo costo y rápida implementación.

Además, para maximizar los ahorros, es fundamental el uso racional de la calefacción a través de termostatos o incluso simples termómetros de pared. Ajustar la temperatura a 20 °C durante el día y reducirla a 18 °C por la noche, como recomienda el Departamento de Energía de EE.UU. Esto permite ahorrar energía sin perder confort, sobre todo en climas templados como el AMBA (Romero & Otros, 2024). Evitar el funcionamiento innecesario de la calefacción, especialmente en habitaciones o ambientes desocupadas, es esencial para optimizar recursos y reducir el impacto ambiental.

En síntesis, la combinación de pequeñas mejoras de aislamiento y un uso inteligente de la calefacción puede traducirse en un ahorro considerable, mayor confort y un paso concreto hacia viviendas más eficientes y sostenibles en Argentina.

Por último, nuestro estudio sobre el plástico de burbujas confirma que se trata de un material altamente inflamable, por lo que su uso debe evitarse en ventanas o superficies vidriadas cercanas a calefactores a gas, eléctricos o cualquier equipo con llama abierta. La misma precaución aplica para cortinas de tela u otros elementos combustibles.

ANEXO 1. MEDICIÓN DE LA TRANSMITANCIA DE PANELES VIDRIADOS CON PLÁSTICO DE BURBUJAS- ENSAYO 1

Para estudiar el efecto aislante del plástico de burbujas o plástico alveolar, se realizaron ensayos que simulan la transferencia de calor entre dos ambientes a diferentes temperaturas a través de una ventana. Con el fin de realizar una comparación entre distintos tipos de ventanas, se realizaron ensayos con una ventana con vidrio simple de 4 mm, una ventana con vidrio simple y plástico alveolar y una ventana de vidrio doble (formada con dos vidrios simples de 4 mm separados con 9 mm de aire entre ellos) dentro de un calorímetro.

El dispositivo utilizado se muestra en la Figura 5 y consiste en una caja de madera contrachapada, aislada térmicamente mediante un recubrimiento interior en todas sus caras de poliestireno expandido (EPS por su sigla en inglés) de alta densidad de 50 mm de espesor. En el interior se ubica un marco de madera ranurado que divide el recinto a la mitad, en el cual se pueden montar una, o dos láminas de vidrio separadas por una cavidad de 9 mm de espesor y también el vidrio con una lámina de plástico alveolar.

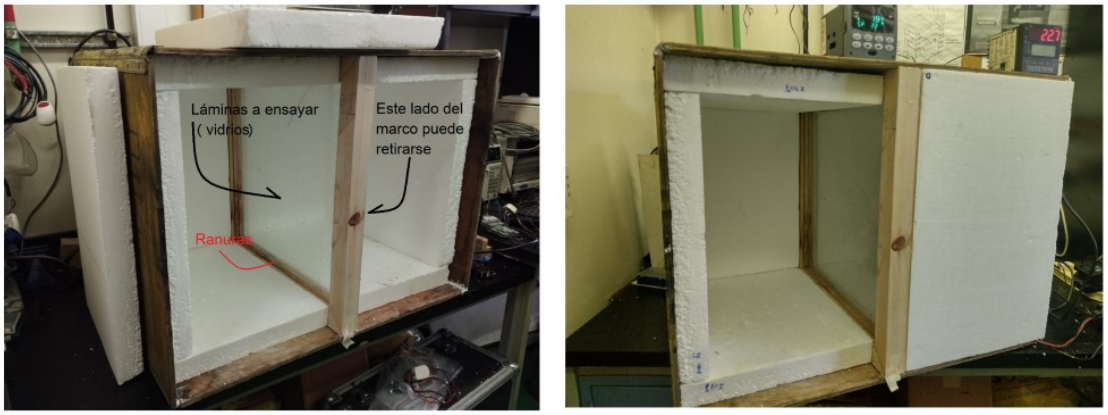


Figura 5: Izquierda: dispositivo abierto donde pueden observarse ambos recintos. Derecha: con el recinto derecho tapado y, sobre el techo, los controladores PID utilizados para controlar los dispositivos de calefacción y refrigeración de los recintos.

En un primer ensayo destinado a cuantificar las pérdidas del recinto, caracterizado por el parámetro u_p, se remueve la separación interior entre ambos recintos y se considera el conjunto como uno solo volumen. Se genera una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, δT_p, y se mide la cantidad de energía E que se debe suministrar al recinto para mantener la temperatura interior constante. Dicha energía debe igualar a la pérdida a través de las paredes $E = 2.u_p.\delta T_p.t$ hacia el exterior, siendo t el tiempo que dura el ensayo y $2.u_p$ la conductancia de la envolvente del recinto total y por lo tanto, una mitad u_p corresponde por simetría a cada uno de los recintos por separado. Los resultados experimentalmente de este coeficiente global de pérdidas de cada recinto hacia el exterior se presentan en la Tabla 2. En este ensayo la temperatura interior T_C se mantuvo ≈ 40 °C y la del ambiente T_{amb} ≈ 25 °C.

Midiendo la potencia de calefactor C para compensar las pérdidas de calor de dicho recinto a través de la ventana y las paredes (caracterizada estas últimas por el parámetro u_p), es posible conocer en cada caso las pérdidas de calor a través de la ventana en estudio para cada muestra ensayada. Dado que las

pérdidas por la envolvente al exterior del recinto C (caliente) son del mismo orden que las pérdidas por la ventana hacia el recinto R (refrigerado), las mismas no pueden despreciarse.

Tabla 2. Resultados de los ensayos realizados para la determinación de la constante u_p del calorímetro.

Ensayo	δT_P promedio [K]	$EEnergía$ [Wh]	t Tiempo [h]	$u_P = E/(2\delta T_p . t)$ [W/K]
1	13,8	33,1	1,1	1,09
2	14,4	30,8	1,0	1,07

Seguidamente, se procede a separar los dos recintos por medio de la ventana, cuya transmitancia térmica se quiere estudiar. Para ello, en el recinto de la derecha de la Figura 6, se dispone un dispositivo calefactor C mientras que en el recinto de la izquierda se ubica un dispositivo refrigerador R. Las temperaturas de ambos recintos se regulan mediante dos controladores PID que manejan los dispositivos C y R. Las temperaturas objetivo para el sistema son: $T_{amb} \approx 25$ °C., $T_{Ro} \approx 22°C$ y $T_{Co} \approx 38°C$. Las temperaturas T_R, T_C y T_{Amb} son registradas de manera continua, al igual que la energía E suministrada al calentador C.

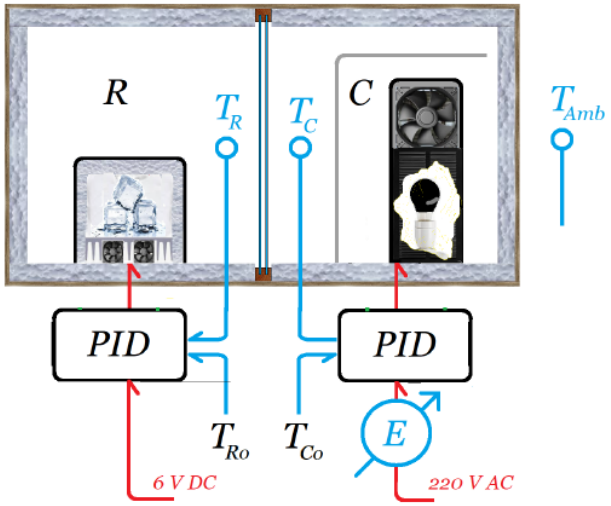


Figura 6: Esquema del dispositivo con los controladores PID. El dispositivo calefactor es una lámpara incandescente con un ventilador, el refrigerador consiste en una caja aislada con hielo y dos pequeños ventiladores que fuerzan el aire a través de un intercambiador de calor de aluminio.

Se realizaron varias mediciones con diferentes configuraciones manteniendo temperaturas estables en las cámaras. Los resultados se presentan en la Tabla 3, y muestran los valores medios de las transmitancias medidas. Se observa que el vidrio con plástico de burbujas tiene una transmitancia U que es un 22 % más bajo que un vidrio simple.

Tabla 3. Resultados obtenidos. Los valores de U representan el promedio de los ensayos realizados para cada configuración.

Ensayo	δT_V promedio [K]	Coeficiente global U $\left[\frac{W}{K.m^2}\right]$	Ahorro [%]
Vidrio simple	15,4	6,8	0 %
Vidrio simple y plástico alveolar	15,2	5,3	22 %
Vidrio doble	16,6	3,1	54 %

ANEXO 2. DETERMINACIÓN DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL PLÁSTICO CON BURBUJA. ENSAYO 2

Este ensayo consistía en estudiar el enfriamiento de dos vasos cilíndricos de plástico *idénticos*, con la misma cantidad de agua caliente en cada uno de ellos. Tanto la parte superior de los cilindros como la inferior estaba bien aislada con placas de espuma de polietileno, de unos 5 cm de espesor. Cada vaso se carga con la misma cantidad de agua m_a. El arreglo experimental se muestra en la Figura 7.

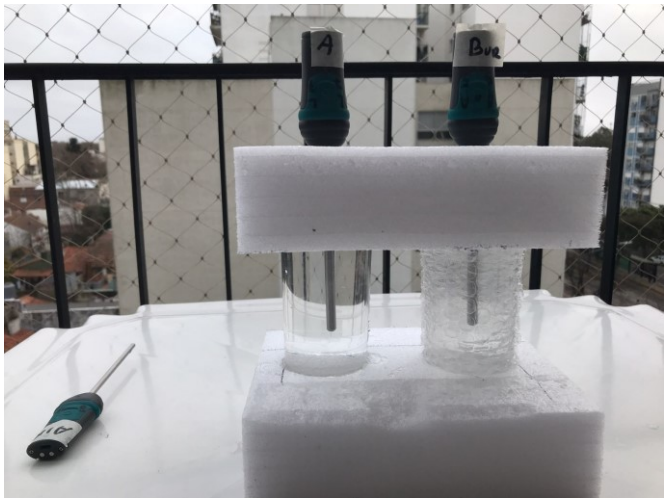


Figura 7: Arreglo experimental para determinar el efecto del plástico con burbujas en termalización de dos cilindros plásticos idénticos con agua caliente, idénticos y a la misma temperatura, que seguimos su evolución térmica con tres termómetros: 1) en el cilindro sin cobertura plástica (izquierda) 2) cilindro con plástico de burbujas (derecha). Un tercer termómetro registra la temperatura ambiente.

En las Figuras 8 y 9 se muestra la variación de ΔT_1 $(= T_1 - T_{amb})$ y ΔT_2 $(= T_2 - T_{amb})$, en función de tiempo, sigue una ley exponencial, en concordancia con las Ec.(1). Del ajuste de estos datos puede obtenerse los valores de τ_1 y τ_2, para los dos cilindros, donde i=1 representa el cilindro sin cobertura plática y i=2 el cilindro con el plástico de burbuja. A partir de estos valores, pueden obtenerse los valores de R_1 y R_2 de la Ec.(2) lo mismo que las transmitancias $U_i = 1/R_i$. Los resultados obtenidos se muestran en *Tabla 4*.

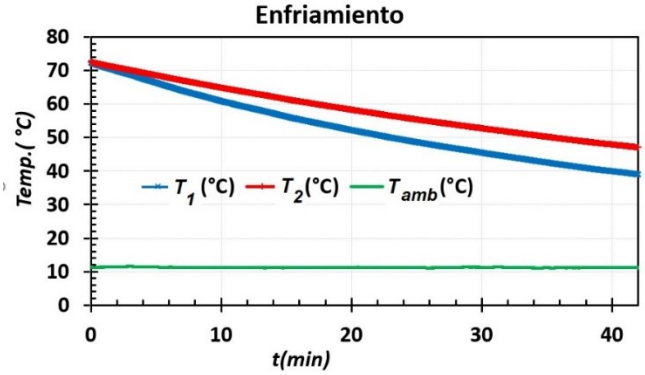


Figura 8: Variación de la temperatura de los dos cilindros con agua caliente. Las cruces azules, corresponden a las temperaturas del cilindro sin plástico protector (T_1) y los símbolos rojos, al cilindro con plástico de burbujas (T_2). La línea verde muestra la temperatura ambiente (T_{amb}).

Tabla 4: *Valores de* constante de tiempo (τ) *y transmitancia (U) por unidad de área obtenido de los resultados experimentales*

	Sin plástico protector	Con plástico de burbuja
Const. de tiempo τ	***57 ± 3** min*	***83 ± 3** min*
Transmitancia U	***17 ± 1** W/(m^2.K)*	***12 ± 1** W/(m^2.K)*

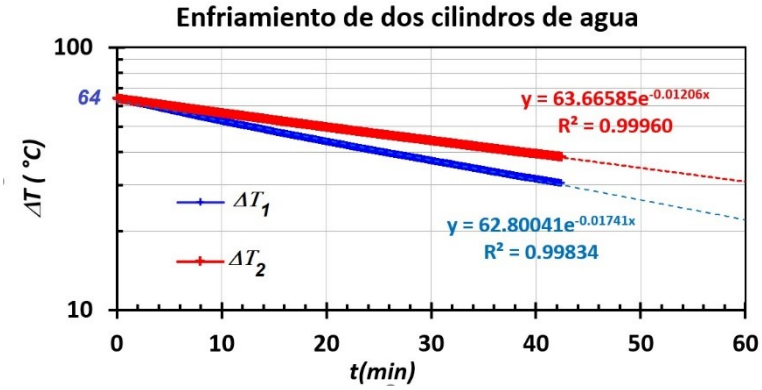


Figura 9: Variación de la diferencia de temperatura, ΔT_1 y ΔT_2, de los dos cilindros con agua caliente. Las cruces azules, corresponden a las temperaturas del cilindro sin plástico protector (ΔT_1) y los símbolos rojos, al cilindro clon plástico de burbujas (ΔT_1). Las líneas de trazos son los ajustes exponenciales a ambos conjuntos de datos.

Seguidamente, se desarrolló un modelo simple, unidimensional, teniendo en cuenta la transmisión de calor por la dirección radial. Así, en esta dirección, suponemos que las resistencias al flujo de calor están determinadas por las siguientes *tres resistencias térmicas en serie*: la resistencia *convectiva de la capa límite del agua interior* (h_{agua}), la *resistencia térmica de la pared plástica del cilindro*, y la *resistencia convectiva de la capa límite de aire exterior* (h_1) (Cengel, 2002). Suponiendo que en el agua hay una capa limite liquida del lado interior del cilindro con agua, representados por h_{agua}, y una capa limite exterior de aire (h_1 y h_2), (denominamos: *1*= sin cobertura plástica y *2*= cilindro con plástico de burbuja). Las resistencias por unidad de área vendrán dadas por:

$$R_1 = \left[\frac{1}{h_1} + \frac{e_p}{k_p} + \frac{1}{h_{agua}}\right], \tag{3}$$

para el cilindro sin cobertura, y para el cilindro con plástico de burbujas:

$$R_2 = \left[\frac{1}{h_2} + \frac{e_p}{k_p} + \frac{1}{h_{agua}}\right]. \tag{4}$$

En estas expresiones, e_p y k_p representan el espesor del baso de plástico y su conductividad térmica respectivamente. Los valores, de h_1 y h_{agua} se toman de tablas (Cengel, 2002), pero sus valores se ajustan para hacer que el valor de R_1 así determinado, coincida con el valor medido de τ_1. El mismo procedimiento se hace con los valores de h_2 y R_2. En realidad, en ambos casos, los valores de R_1 y R_2 dependen principalmente de los valores de h_1 y h_2 respectivamente. De este modo, el modelo utilizado para simular el efecto del plástico de burbujas asume que dicho material modifica el espesor de la capa límite del aire exterior. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: *Valores de transmitancia (U) por unidad de área obtenido de los resultados experimentales y constantes de convección (h_i)*

	U Sin plástico protector	***U*** Con plástico de burbuja
Valor de h_{agua}	***120 ± 5*** *W/(m².K)*	***120 ± 5*** *W/(m².K)*
Valor de h_i *(aire)*	***h_1=22.0 ± 0,2*** *W/(m².K)*	***h_2=14.2 ± 0.1*** *W/(m².K)*

En definitiva, *el efecto del plástico de burbuja es hacer la capa límite convectiva de aire, más grande,* incrementando su resistencia en un factor de 22/14,2 = 1,55 (~55 %).

Aplicando este mismo criterio para modificar la transmitancia de una hoja de vidrio, consideramos una lámina simple de 4 mm de espesor, con capas límite de aire interior y exterior dadas por h_{int} = 8 *W/(m².K)* y h_{ext} = 22 *W/(m².K)* respectivamente:

$$R_1 = \left[\frac{1}{h_{ext}} + \frac{e_v}{k_v} + \frac{1}{h_{int}}\right] = 0{,}176, U_1 = \frac{1}{R1} = 5{,}68\ W/(m^2.K), \quad (5)$$

y para el vidrio con plástico de burbuja (h_{int_mod} = 5.2 *W/(m².K)* y h_{ext}= 22 *W(/m².K)* respectivamente):

$$R_2 = \left[\frac{1}{h_{ext}} + \frac{e_v}{k_v} + \frac{1}{h_{int_mod}}\right] = 0{,}242, U_2 = \frac{1}{R2} = 4{,}13\ W/(m^2.K). \quad (6)$$

Para un vidrio doble de 4 mm de espesor cada uno y 9 mm de separación:

$$U_doble = 2{,}5\ W/(m^2.K) \quad (7)$$

en la *Tabla 1* se resumen los resultados.

ANEXO 3. INFLAMABILIDAD DEL PLÁSTICO DE BURBUJAS

El plástico de burbujas utilizado para embalaje está compuesto principalmente por polietileno de baja densidad (LDPE), un material inflamable que puede arder fácilmente si se expone a fuentes de calor intenso o llamas abiertas. Si bien es un excelente aislante y protector, su uso requiere ciertas precauciones por sus características de inflamabilidad.

Propiedades y ensayos de inflamabilidad: El LDPE comienza a fundirse cerca de los 200 °C y puede prenderse fuego a temperaturas próximas a 500 °C, aunque arde rápidamente cuando entra en contacto con una llama directa. La presencia de aire atrapado en las burbujas puede favorecer la combustión. Al quemarse, el material desprende vapores irritantes y gotas encendidas, facilitando la propagación del fuego.

En ensayos normalizados en los Laboratorios de INTI, siguiendo las normas (IRAM INTI-CIT G7577:91 y ASTM D6413), el plástico de burbujas estándar obtuvo el peor desempeño (Nivel 3) en todos los parámetros evaluados: duración de la llama, longitud carbonizada, incandescencia prolongada y goteo de fragmentos encendidos. Esto evidencia una alta inflamabilidad y ausencia de características autoextinguibles.

Recomendaciones de uso y almacenamiento: Se recomienda mantener el plástico de burbujas alejado de estufas, velas, artefactos de calefacción o cualquier fuente de calor o chispas. Si se utiliza como aislante en ventanas, debe evitarse en aberturas ubicadas *sobre calefactores a gas, eléctricos o a combustión, y debe asegurarse que no pueda caer sobre equipos que puedan inflamarlo*. Estas precauciones también aplican a cortinas de tela u otros materiales combustibles.

Existen versiones de plástico de burbujas con aditivos retardantes de llama, pero en la práctica el material estándar sigue siendo el más utilizado y el de mayor riesgo en caso de incendio.

En resumen: El plástico de burbujas es altamente inflamable y no presenta resistencia significativa al fuego. Este material debe evitarse, en áreas vidriadas y ventanas, ubicadas sobre calefactores a gas, eléctricos o cualquier calefactor con llama abierta. Es importante tener la precaución de que, en caso de que el plástico se desprenda de la ventana o superficie vidriada a la que fue aplicado, quede alejado de cualquier fuente de calor que pueda inflamarlo. Esta misma recomendación aplica también para cortinas de tela u otros materiales combustibles.

REFERENCIAS

Argentina.gob.ar. (2024). *Balances Energéticos*. (Secretaria de Energía de la Nación Argentina) Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/econom%C3%ADa/energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos

Cengel, Y. (2002). Heat Transfer: A Practical Approach. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill,.

DOE- USA. (2020). *Reducing Electricity Use and Costs*. (DOE) Obtenido de Energy Saver: https://www.energy.gov/energysaver/save-electricity-and-fuel/appliances-and-electronics/reducing-electricity-use-and-costs

Gil, S. (2023). *Fisica reCreativa -Tips para ahorrar energía y costos en las facturas*. Obtenido de http://www.fisicarecreativa.com/UREE/index.htm

Iannelli, L., & Gil, S. (2022). Eficiencia en climatización I- Sugerencias para optimizar su consumo - Medidas de bajo costo. *Petrotecnia, Mayo 2022*.

Munjal , E., & y otros. (2015). Thermal Insulation Properties of Bubble Wrap Window Covers. *Energy Procedia, 78*, 1421–1426.

Navarrete Boutaud, S. A. (2016). *Infiltraciones de Aire en la Vivienda.* Concepción-Chile : Tesis para optar al grado de magister en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Mecánica.

Romero, P., & Otros. (2024). Uso del termostato: estrategias para el ahorro energético en viviendas y edificios. En ASADES (Ed.), *Contribución a la XLVI Reunión de ASADE Rosario- Octubre 2024*, (pág. 14). Rosario.

Tsikaloudaki, A., & y Otros. (2014). Thermal and optical characteristics of plastic bubble wraps used as window insulation. *Solar Energy, 103*, 226–237.

Zavalia Lagos, R., Iannelli, L., & Gil, S. (2020). *Consumos Claves, ¿Cuáles son los principales consumos domésticos en Argentina?* (Vol. Nov.2020). Buenos Aires: Instituto Argentino de la Energía (IAE). Obtenido de https://web.iae.org.ar/#

LOW-COST MEASURES TO SAVE ENERGY IN WINTER: BUBBLE WRAP

ABSTRACT: This article explores how to reduce heating consumption in homes through simple, accessible and low-cost solutions. In Argentina, about 50 % of residential energy consumption, or about 12 % of total energy consumption, goes to thermal conditioning of buildings. In the residential sector, heating represents the main energy expense in most homes. Improving thermal insulation is key to reducing bill costs and emissions. This study analyzes the use of bubble plastic or honeycomb plastic applied to windows and glass surfaces as a cost-effective option to improve thermal efficiency. To this end, two experimental trials were conducted to show how this technique can significantly decrease the thermal transmittance of glass. Although it does not match the performance of a double-glazed window, it offers a very economical intermediate solution, ideal for improving thermal comfort in winter.

Keywords: energy efficiency, insulation materials, low-cost solutions.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 146-156 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

CARACTERIZACIÓN DE PATRONES DE CONSUMO ELÉCTRICO E INSERCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNER

Francisco J. Fernández[1,2], Martín S. García[2], Luis I. Silva[2], Cristian H. De Angelo[2,3]

[1] Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía y Medio Ambiente (GIDEMA) - Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER) Oro Verde, Argentina.

[2] Centro de Investigaciones y Transferencia Rafaela – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf) Rafaela, Santa Fe, Argentina.

[3] Grupo de Electrónica Aplicada (GEA) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Tel. 0343- 4051239 – e-mail: javier.fernandez@uner.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se aborda la caracterización de las curvas de carga eléctricas de dos sectores ubicados en el módulo 1 de la Facultad de Ingeniería de la UNER y se analiza la instalación de sistemas fotovoltaicos (FV) para su cobertura parcial. El primer sector está destinado al área de vinculación tecnológica y coworking, y el segundo a oficinas administrativas y aulas. Las mediciones empíricas de la demanda eléctrica se tomaron durante el año 2024 con un intervalo de una hora. Los resultados permiten identificar patrones característicos en la utilización de electricidad en el edificio, en cuanto a sus sistemas de climatización, iluminación, horarios de funcionamiento, etc., y, además, estimar la cobertura directa que tendría la demanda a partir de la energía generada por el sistema FV, la energía a tomar de la red pública y el excedente de energía para cada caso.

Palabras clave: Consumo eléctrico, medidor inteligente, curvas de carga, energía fotovoltaica, edificio educativo.

INTRODUCCIÓN

El sector Edificios es uno de los principales responsables de la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En las áreas urbanas, el sector residencial concentra cerca del 30% de las emisiones directas (Deloitte, 2019), mientras que a nivel mundial las edificaciones demandan entre el 40% y el 45% de la energía total (Tathagat y Dod, 2015). Este elevado consumo está asociado tanto a la climatización como al uso de equipamiento eléctrico e iluminación, que representan alrededor del 40% del consumo global de energía (UNEP-SBCI, 2009). En este contexto, la identificación de los patrones de consumo energético en los edificios resulta fundamental para implementar medidas de eficiencia y promover la incorporación de energías renovables, con el fin de reducir la dependencia de fuentes fósiles y mitigar las emisiones de GEI.

En esta línea, es posible identificar diversos trabajos científicos a nivel internacional que abordan el estudio de los patrones de consumo en universidades y edificios educativos en general. Bastida-Molina et al. (2023) desarrollaron un algoritmo para analizar el consumo eléctrico en universidades y utilizan como ejemplo el campus de Albacete de la Universidad de Castilla-La Mancha. Yang et al. (2023) investigaron los patrones y los factores que influyen en el consumo eléctrico de residencias universitarias durante el verano en China e identificaron que el género resultó ser un factor importante en la determinación del consumo de base, mientras que el piso (altura), la ocupación y la ubicación de la habitación eran determinantes en el consumo por refrigeración. En la misma línea, Zhou et al. (2021) evaluaron un conjunto de características similares, donde identifican la efectividad de ciertos incentivos para el ahorro energético. Chen et al. (2023) desarrollaron un modelo predictivo para estimar la demanda mensual en la biblioteca YunTech a partir de conjuntos limitados de datos de consumo eléctrico.

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En relación al estudio de la energía en edificios educativos universitarios, en Argentina se está llevando a cabo el Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitario (PROFEE). Este se centra en el análisis del consumo de energía eléctrica en instituciones de educación superior y en la evaluación del impacto de la generación a partir de fuentes renovables sobre dichas instituciones y el medio ambiente. En este sentido, el proyecto pretende realizar diagnósticos energéticos en cada una de las instituciones intervinientes a fin de identificar cómo se desagregan los consumos eléctricos (iluminación, climatización, equipos especiales, etc.) y cuáles son sus factores determinantes (clima, usuarios, según el tipo de actividad y bandas horarias). Los datos relevados son procesados para obtener información sistematizada y determinar los perfiles de consumo de energía eléctrica de los edificios que conforman la red. Esto permitirá identificar oportunidades de mejora de la eficiencia energética y las posibilidades de incorporar sistemas de generación fotovoltaica. A su vez, esta información permitirá diseñar e implementar campañas de sensibilización sobre el uso energético en las instituciones (PROFEE, 2023).

En este marco, la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), representada en el proyecto PROFEE por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería (GIDEMA FI-UNER), recibió un contador trifásico inteligente. A partir de su instalación en el año 2022 y de la recolección de los datos con paso horario, se elaboró el presente trabajo de investigación que tiene por objetivo reconstruir las curvas de carga eléctricas del módulo 1 de la institución, un bloque dedicado a gestionar y promover vínculos dentro de un entorno emprendedor e innovador entre la comunidad universitaria y los diferentes sectores actores externos (CiEV) y un bloque de secretarías, oficinas y aulas, y establecer conclusiones en cuanto a sus patrones de consumo y sus determinantes; como así también analizar la eventual instalación de un sistema fotovoltaico para cada sector.

METODOLOGÍA

En el marco del mencionado proyecto PROFEE, en la Facultad de Ingeniería de la UNER se instaló un contador trifásico de conexión directa modelo CIRWATT 410-QD1A-A0B10 de la marca Circutor. Este medidor fue instalado en el módulo 1 (ver Figura 1). El contador es de clase B en energía activa según Directiva Europea MID (EN 50470) o clase 1 según IEC-62053-21, cuenta con comunicación RS232 y Ethernet, su rango de medida es 3x230/400V y soporta corrientes de hasta 100A.

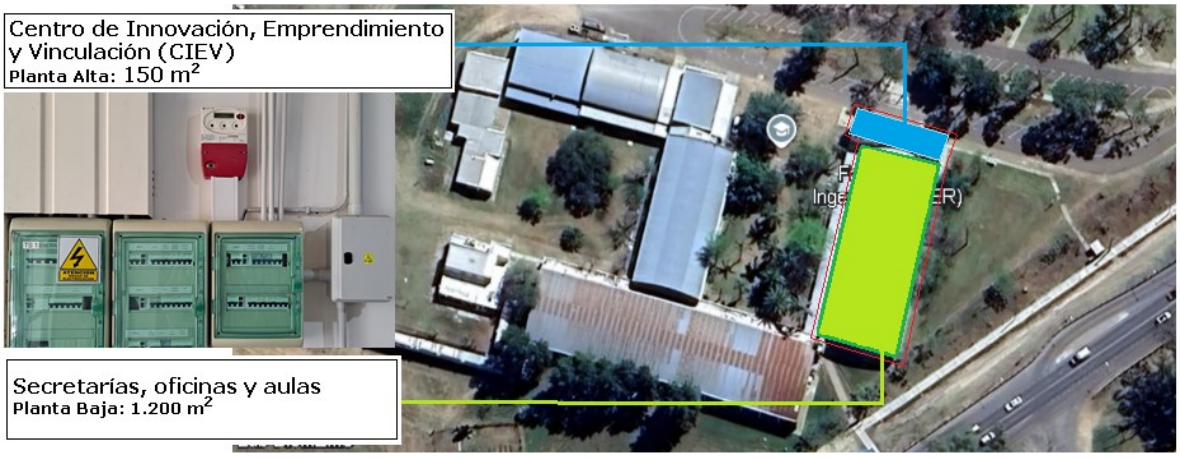


Figura 1. Instalación del medidor inteligente, a la izquierda el tablero del módulo 1. En azul el CiEV (PA) y en verde el sector de secretarías, oficinas y aulas (PB).

A continuación, se expone una breve descripción de las características del módulo 1 de la FI-UNER:
El Centro de innovación, Emprendimiento y Vinculación (CiEV) de la Facultad de Ingeniería de la UNER (Figura 2), fue construido según los estándares recomendados para la zona y es la construcción más nueva de la Facultad. Está situado en la planta alta con una superficie de 150 m^2, una fachada frontal de 85 m^2, construida mayormente de superficie vidriada. Las aberturas de doble vidriado hermético (DVH) con cámara de aire de 0,006 m de espesor abarcan un área de 51 m^2, mientras que las puertas y los paneles fijos vidriados internos de simple vidrio ocupan 24 m^2. El resto de la fachada y ambas paredes laterales se componen de muros de 0,20 m de espesor compuestos de revoque fino y grueso, ladrillo alivianado de HCCA y revoque fino y grueso interno, cubriendo un área total de 77 m^2. La pared posterior sur se compone

de muros de 0,45 m de espesor compuestos de revoque fino y grueso, aislante hidrófugo y ladrillo visto, cubriendo un área total de 85 m^2. La relación vidrio/muro es del 32% distribuida de la siguiente manera: 78% del área vidriada se ubica al norte (N), 7% al este (E) y 15% al oeste (O).

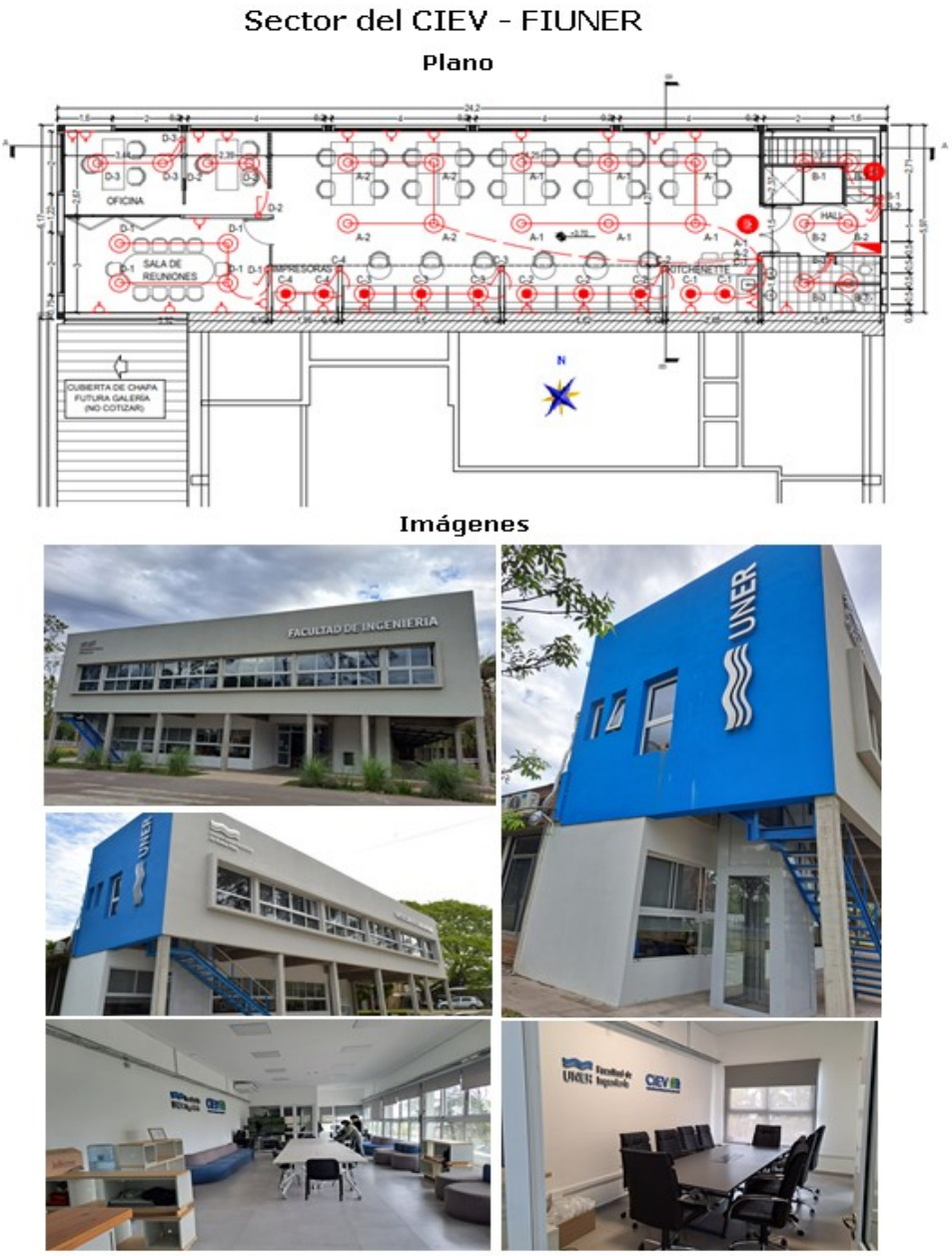


Figura 2. Plano e imágenes del sector de CiEV de la FI-UNER.

El edificio del CiEV está conformado por 5 espacios internos (oficina, espacio común, sala de reuniones, hall de entrada y baños) distribuidos en la planta alta (PA). En este sector, la envolvente es de alta calidad termoenergética, con valores de transmitancia térmicas (obtenidas teóricamente) de 2,41 $W/m^2°C$ en muros alivianado, 1,28 $W/m^2°C$ en muro al sur, 0,073 $W/m^2°C$ en techo, 2,44 W/m^2 °C en piso y 3,205 W/m^2 °C en aberturas (para mayor detalle ver Tabla 1). Este sector no cuenta con gas natural, por lo que el sistema de climatización está resuelto mediante 4 equipos de climatización individuales. Además de los equipos de climatización, se identifican computadoras fijas y portátiles, iluminación y equipos de refrigeración y calentamiento de agua como los equipos más importantes en cuanto a consumo. En la Tabla 2 se detalla un listado de los equipos eléctricos presentes en el sector a los efectos de caracterizar de forma aproximada su comportamiento (Fernández et al., 2024).

En la planta baja se disponen de oficinas y secretarías como el departamento personal, secretarías de extensión, académicas e investigación, decanato, mesa de entrada, alumnado, área contable entre otras;

y un bloque de 4 aulas (Figura 3). En planta baja también se ubican dos baños cercanos al área de aulas. La planta baja del módulo 1, en total consta de un área de 1.200 m^2 cubiertos y 160 m^2 de galerías externas semicubiertas. La envolvente es de baja calidad termoenergética, con valores de transmitancia térmica de 1,71 $W/m^2°C$ en muros, 0,08 $W/m^2°C$ en techos y 7,04 $W/m^2°C$ en aberturas (para mayor detalle ver Tabla 1). Este sector cuenta con un sistema de climatización para las oficinas y secretarías resuelto por medio de equipos de climatización individuales para cada espacio, totalizando 15 equipos. Por su parte, el sector de aulas no cuenta con calefacción, y disponen de ventiladores. Se evidencia una importante demanda eléctrica a partir de la conexión de computadoras portátiles de los estudiantes durante las horas de clase, ya que las aulas pueden albergar comisiones muy numerosas dada su superficie (aproximadamente 450 personas). Además, la carga eléctrica de los ventiladores en épocas de verano puede resultar relevante dada la cantidad de alumnos que pueden ingresar en las aulas. Para más detalle del equipamiento, ver Tabla 2 (Fernández et al., 2024).

Figura 3. Plano e imágenes del sector de oficinas, secretarías y aulas del módulo 1 de la FI-UNER. En la Tabla 1 se exponen las características de la envolvente de cada sector analizado.

En cuanto al uso de los espacios, la ocupación de las aulas varía a lo largo del día y de la semana, en función del dictado de diferentes asignaturas. Por el contrario, la ocupación de las oficinas tiende a mantenerse estable durante la jornada laboral. El horario de funcionamiento de las instalaciones también

depende de los servicios que prestan. En el caso de las aulas, el horario operativo es de 8:00 a 20:00 hs. Para las oficinas, el CiEV y los grupos de investigación, el horario promedio es de 8:00 a 17:00 hs.

Tabla 1. Caracterización de la envolvente edilicia de los sectores analizados.

Propiedades térmicas de la envolvente		
Edificio	CiEV	Oficinas, secretarías y aulas
Muros livianos	Ladrillo alivianado HCCA de 10 cm con revoque grueso y fino en ambos lados	Ladrillo alivianado HCCA de 10 cm con revoque grueso y fino en ambos lados
	2,415 W/m2°C	2,415 W/m2°C
Otros muros	Ladrillo común de 45 cm con revoque grueso y fino en ambos lados	Ladrillo común de 25 cm con revoque grueso y fino interior
	1,28 W/m2°C	1,71 W/m2°C
Aberturas	Perfiles de polímero y vidrio DVH de 18 mm con 6 mm de cámara de aire	Perfiles de aluminio y vidrio simple
	3,205 W/m2°C	7,04 W/m2°C
Cielorraso y cubierta	Chapa de Zinc, membrana aislante de espuma de polietileno 1 cm con cámara de aire y cielorraso suspendido de placas de yeso	Chapa de Zinc, membrana aislante de fibra de vidrio con cámara de aire y cielorraso suspendido de placas de yeso
	0,0736 W/m2°C	0,08 W/m2°C
Pisos	Cerámica de loza, contrapiso y hormigón denso	Cerámica de loza y contrapiso
	2,44 W/m2°C	5,025 W/m2°C

En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos en el relevamiento de los consumos de los equipos en los espacios analizados.

El Medidor trifásico se instaló en el módulo 1 de la FI-UNER, y fue configurado para tomar lectura cada una hora brindando información acerca del comportamiento de la demanda, lo que nos permitió proponer acciones para minimizar el consumo. Para este proyecto se utilizaron los datos de las mediciones mensuales para los meses de enero a diciembre del año 2024. A partir de los datos medidos se construyeron las curvas de demanda eléctrica anual, sobre las cuales se interpreta la posible incidencia de los usos. También se evalúa la monótona de carga horaria; la interacción entre el consumo y la temperatura a partir de datos horarios aportados por la estación Experimental INTA-Paraná localizada en la ciudad de Oro Verde. Luego se simula la inserción de un sistema fotovoltaico sobre ambos sectores a los efectos de evaluar la cobertura de la demanda para cada caso. Para ello se utilizó el software PVSol en su versión de prueba y se ensaya un sistema que se adecue a las características de la cubierta de cada sector.

RESULTADOS

El módulo 1 de la FI-UNER presentó un consumo eléctrico de 37.823 kWh durante 2024 (25,21 kWh/año*m^2). Su curva anual (Figura 4) refleja un comportamiento vinculado a un consumo de base conformado por las computadoras fijas, servicio de agua caliente/fría para consumo e iluminación que demanda unos 33.143 kWh/año (87% del consumo total). Este consumo de base se estimó a partir de la demanda registrada en los meses de abril y octubre, los cuales, de acuerdo con las condiciones climáticas locales y las observaciones de los usuarios de los espacios del edificio, se consideran períodos sin requerimientos significativos de climatización. Esta selección se fundamenta en que durante dichas etapas del año las temperaturas suelen encontrarse dentro de la franja de confort térmico, reduciendo la necesidad de recurrir a equipos de calefacción o refrigeración.

Tabla 2. Caracterización del consumo eléctrico de los sectores analizados.

Relevamiento de equipos eléctricos				
Edificio	CIEV		Oficinas, secretarías y aulas	
Descripción	Cantidad	Pot. unitaria	Cantidad	Pot. unitaria
AA 1000 F	-	-	14	550 W
AA 1200 F	-	-	1	650 W
AA 1700 F	-	-	1	750 W
AA 3000 F	1	1270 W	-	-
AA 4000 F	1	1500 W	-	-
AA 9000 F	2	3300 W	-	-
PC portátil	10	120 W	6 fijas + variable	120 W
PC escritorio	2	300 W	28	300 W
Teléfono	2	44 W	14	44 W
Televisor LED	2	200 W	4	200 W
Proyector	1	350 W	4	350 W
Parlantes	-	-	4	120 W
Robot ABB 250	1	250 W	-	-
Dispenser	1	1000 W	2	1000 W
Ventiladores	-	-	30	280 W
Caloventor	-	-	7	2000 W
Pava/microondas	3	800 W	6	800 W
Cafetera	1	200 W	1	200 W
Heladera	1	900 W	2	900 W
Tubo LED	2	18 W	140	18 W
Plafón LED	20	40 W	70	40 W
Secador de mano	-	-	2	500 W
Sistema de control	1	120 W	1	1200 W

Por otra parte, se observan dos picos anuales de consumo: el primero, destinado a calefacción mediante equipos de climatización de espacios y caloventores individuales en los meses de invierno, que demanda 1.974 kWh/año (6% del consumo total); y el segundo destinado a la refrigeración por medio de equipos de climatización en los meses de verano, que demanda 2.705 kWh/año – a excepción de enero que el edificio se mantiene cerrado- (8% del consumo total).

En cuanto al comportamiento horario anual, la monótona de carga refleja un consumo de 1 a 9 kW durante gran parte del año (88 %), mientras que se observan picos que van desde los 9,6 kW a los 47 kW durante aproximadamente 10% de las horas del año (Figura 5). Este comportamiento se explica en la Figura 6, donde se observa que las demandas pico, que van de los 20 a 30 kW se alcanzaron cuando las temperaturas exteriores se mantuvieron en torno a los 28°C a 38°C, es decir que la demanda por refrigeración es la que refleja mayores picos de potencia eléctrica; considerando que no hay refrigeración por otra fuente de energía.

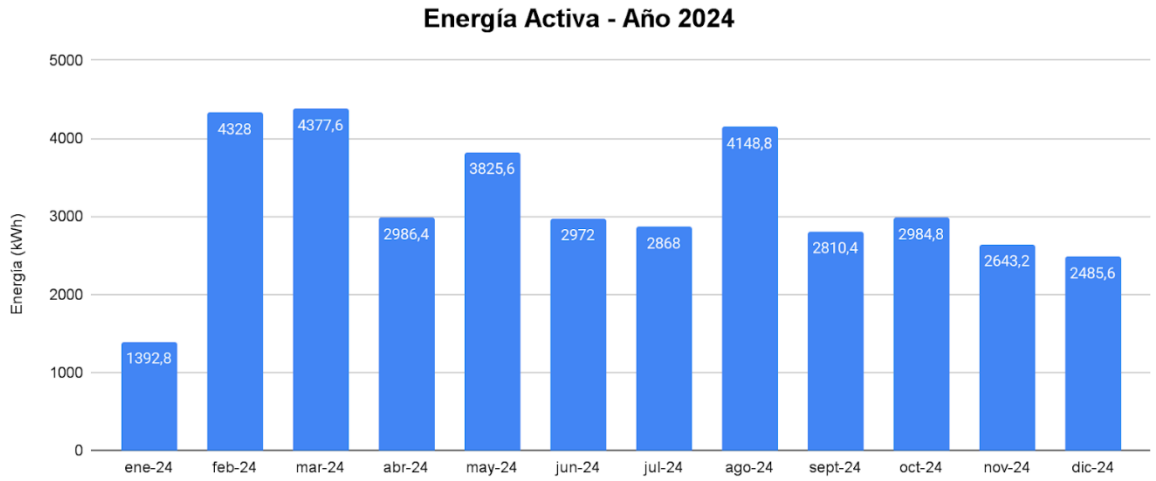


Figura 4. Demanda del consumo eléctrico mensual del módulo 1 de la FI-UNER.

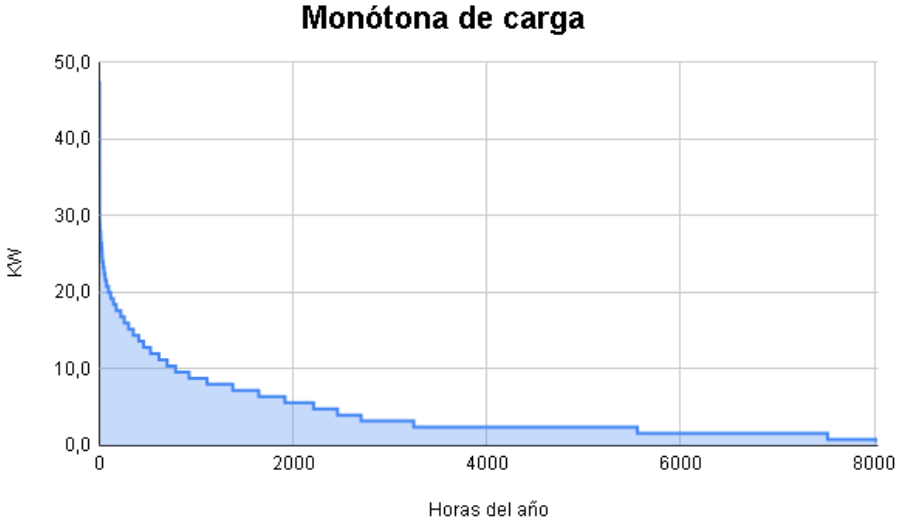


Figura 5. Monótona de carga del módulo 1 de la FI-UNER.

Por su parte, se identifican también consumos que superan los 20 kW de potencia en períodos donde la temperatura exterior es cercana o inferior a los 15°C (Figura 6). En la Figura 6 también se observa que la mayoría de las horas del año hay un consumo base de 1 a 10 kW, generado por la demanda de las computadoras, en el rango de temperaturas que va desde los 10 a los 30°C. En efecto, entre los tres gráficos y el reconocimiento del equipamiento instalado es posible identificar ciertos patrones de uso que caracterizan de forma notoria a los sectores estudiados y las actividades que allí se desarrollan.

A partir de la reconstrucción de las curvas de carga promedio para los días laborables de cada mes, es posible corroborar lo señalado previamente. En la Figura 7 se observa que las curvas diarias presentan un patrón similar: el consumo se inicia alrededor de las 7:00, alcanza su máximo hacia el mediodía y desciende hasta cesar la actividad cerca de las 21:00. Los meses de febrero y marzo registran los picos más altos, entre 15 y 18,6 kW, asociados a las elevadas temperaturas, mientras que en mayo y agosto se alcanzan valores también elevados, entre 13 y 17,6 kW, en respuesta a las bajas temperaturas invernales. En contraste, enero evidencia un consumo muy reducido por la falta de actividad académica, seguido por diciembre y noviembre, en los cuales el perfil acampanado se mantiene, con máximos al mediodía. Este comportamiento permite anticipar que, ante la eventual incorporación de un sistema fotovoltaico, las curvas de consumo se complementarían con la generación solar, cuyo pico también ocurre al mediodía; no obstante, se destaca que en diciembre y enero podría producirse un desfasaje por

la alta generación y baja demanda, mientras que en invierno ocurriría lo inverso, con baja generación y mayor consumo.

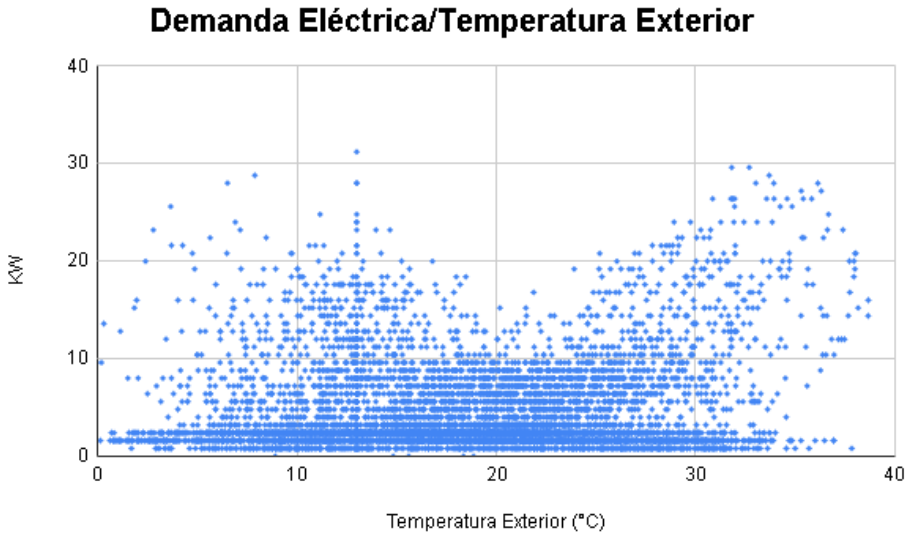


Figura 6. Interacción entre la demanda eléctrica y la temperatura exterior.

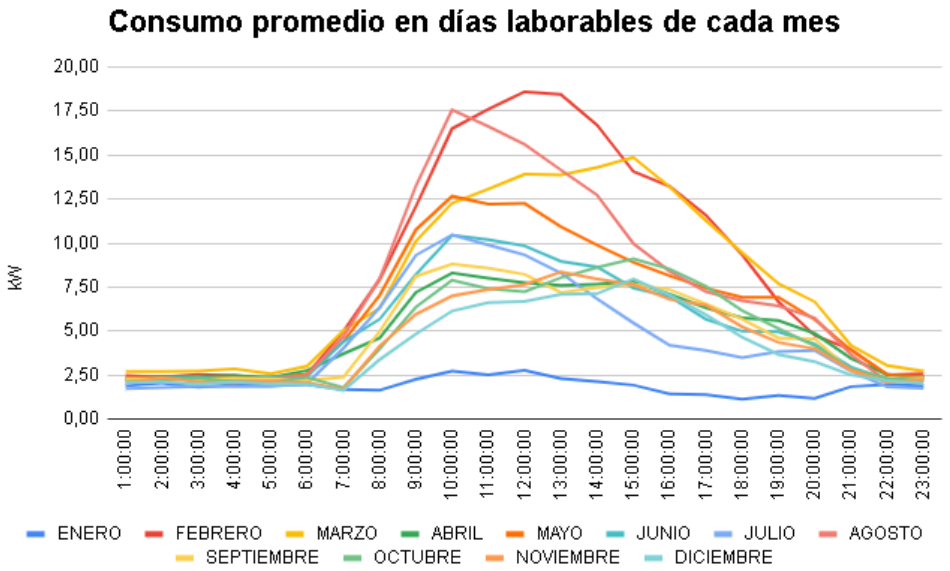


Figura 7. Curvas de carga promedio diarias por mes para el módulo 1.

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de los sistemas fotovoltaicos para ambos sistemas analizados, entregados por el informe técnico del software PVSol.

Sector del CiEV

La simulación del sistema FV (Tabla 3) consideró la utilización de un sector del techo de chapa de zinc de unos 45 m^2, donde los paneles deberían ser instalados orientados al norte a 45° de la superficie de la cubierta y sobre soportes que se adecúen a la pendiente (Figura 8.1). El arreglo consta de 27 módulos de 300 Wp (de 1,68 m^2 cada uno y una eficiencia del 18,1%), que totalizan unos 8,1 kWp. Se simuló un inversor AEG trifásico modelo AS-IC02-6000-2 con una potencia nominal de CC de 6 kW y una potencia de CC máxima de 9 kW (AEG, 2023). La energía generada anualmente sería de 6.994,31 kWh, la irradiación global sobre el módulo sería de 952,47 kWh/m^2, el coeficiente de rendimiento de la instalación (PR) de 84,20 % y el rendimiento anual específico de 863,50 kWh/kWp.

Sector de oficinas, secretarías y aulas

La simulación del sistema FV (Tabla 3) consideró la utilización de un sector del techo de chapa de zinc de unos 215 m^2, donde los paneles deberían ser instalados hacia el norte a 45° de la superficie del techo y sobre soportes que se adecúen a la pendiente (Figura 8.2). El arreglo consta de 128 módulos de 300 Wp (de 1,68 m^2 cada uno y una eficiencia del 18,1%), que totalizan unos 38,4 kWp. Se simularon 6 inversores AEG trifásico modelo AS-IC02-6000-2 con una potencia nominal de CC de 6 kW y una potencia de CC máxima de 9 kW (AEG, 2023). La energía generada anualmente sería de 33.239,43 kWh, la irradiación global sobre el módulo sería de 952,47 kWh/m^2, el coeficiente de rendimiento de la instalación (PR) de 84,40 % y el rendimiento anual específico de 865,61 kWh/kWp.

Tabla 3. Síntesis del sistema FV propuesto para el módulo 1 de la FI-UNER.

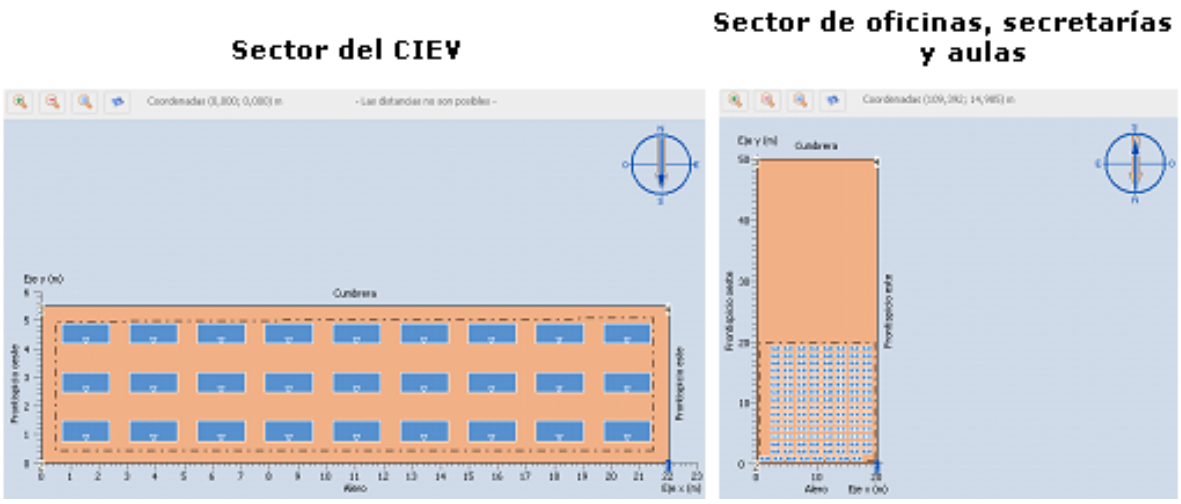
Sector	CiEV	Oficinas, secretarías y aulas	Total
Orientación/ Inclinación	180°/45°	180°/45°	180°/45°
Potencia (kWp)	8,1	38,4	46,5
N° de paneles (300 Wp)	27	128	155
Energía anual generada (kWh)	6.994,31	33.239,43	40.234
Demanda total anual (kWh)	7.800	29.700	37.504
Demanda cubierta por FV	46%	42%	44%
Demanda cubierta por red	54%	58%	56%
Energía inyectada a la red (kWh)	3.406,3	20.765	24.171,3
Emisiones de CO_2 evitadas (Kg/año)	3.281,4	15.594,6	18.876

Como se observa en la Tabla 3, la energía generada anualmente sería de 40.234 kWh y supera ampliamente la demanda del sector (37.823 kWh, coseno de fi = 95,8%). Sin embargo, debido al desfasaje entre la curva de generación renovable y el perfil de consumo, la cobertura directa de la demanda alcanzaría un promedio del 44%, mientras que el 56% restante debería ser abastecido por la red. Este valor fue obtenido a partir de los cálculos realizados con el software PVSol (versión de prueba), que considera tanto la generación horaria estimada del sistema como la curva de consumo eléctrico registrada, ensayando una configuración adaptada a las características de la cubierta de cada sector. En este escenario, el sistema inyectaría además unos 24.171,3 kWh al resto de los edificios y/o a la red.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El presente estudio permitió caracterizar los patrones de consumo eléctrico del módulo 1 de la Facultad de Ingeniería de la UNER, identificando la distribución de la demanda a lo largo del año y sus principales factores determinantes. Se observaron tres componentes clave en el consumo: un consumo de base asociado a la iluminación y equipos electrónicos, un pico invernal debido a la calefacción eléctrica y un pico estival vinculado a la refrigeración por equipos de climatización.

Los resultados evidencian que la climatización representa un porcentaje significativo del consumo total de energía en el edificio, lo que sugiere la necesidad de estrategias de eficiencia energética, como la mejora en el aislamiento térmico de los espacios y la optimización del uso de los equipos de climatización. Además, el análisis de la interacción entre la demanda eléctrica y la temperatura exterior mostró que la refrigeración en verano genera los picos más elevados de potencia, alcanzando hasta 47 kW.



(8.1) *(8.2)*

Figura 8. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico del módulo 1 de las FI-UNER. (8.1) Arreglo de paneles en la cubierta del sector del CiEV. (8.2) Arreglo de paneles en la cubierta del sector de oficinas, secretarías y aulas.

La evaluación de la instalación de sistemas fotovoltaicos en el módulo 1 arrojó resultados prometedores. Se propusieron dos arreglos fotovoltaicos: uno para el sector del CiEV y otro para el área de oficinas, secretarías y aulas. En conjunto, estos sistemas alcanzarían una generación anual de 40.234 kWh, superando la demanda total del edificio. No obstante, debido a la asincronía entre la producción y el consumo, se estimó que solo el 44% de la demanda podría ser cubierta directamente por la energía solar, mientras que el 56% restante requeriría el abastecimiento desde la red pública. Además, el sistema generaría un excedente de 24.171 kWh, que podría ser aprovechado por otros sectores del campus universitario o inyectado a la red.

En términos ambientales, la implementación de los sistemas fotovoltaicos permitiría reducir las emisiones de CO_2 en aproximadamente 18.876 kg/año, según las estimaciones aportadas por el informe técnico del software PVSol. Este valor se obtiene a partir de la energía generada anualmente por el sistema y de los factores de conversión de emisiones asociados al reemplazo de la energía suministrada por la red eléctrica, lo que representa un impacto positivo en la sostenibilidad energética de la institución. Como trabajos futuros, se recomienda profundizar en el análisis de estrategias de almacenamiento de energía para aumentar la cobertura directa de la demanda mediante baterías o sistemas de gestión energética inteligentes. Asimismo, sería conveniente realizar estudios sobre la viabilidad económica y el retorno de la inversión de la instalación fotovoltaica, considerando incentivos y regulaciones vigentes.

Finalmente, se sugiere implementar medidas de concientización y capacitación sobre el uso eficiente de la energía en la comunidad universitaria, con el objetivo de maximizar los beneficios del sistema propuesto. Además, es importante continuar midiendo el consumo de energía del resto de los módulos de la FI-UNER, así como proponer indicadores energéticos meta para evaluar la implementación de acciones de eficiencia energética.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitaria (PROFEE) que proveyó el medidor inteligente para la realización del presente trabajo y a la Facultad de Ingeniería de la UNER por permitirnos realizar la investigación en el edificio y brindarnos toda la información requerida.
A la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNER por la ayuda constante y el apoyo económico para la realización de viajes y cursos de capacitación.

REFERENCIAS

AEG (2023). AEG Grid-Tied Solar Inverters Technical Specifications. https://acortar.link/5C6PME.

Bastida Molina, P.; Torres Navarro, J.; Honrubia Escribano, A.; Gallego Giner, I.; Gómez Lázaro, E. (2023). A detailed analysis of electricity consumption at the University of Castilla-La Mancha (Spain). Energy and Buildings (289), 113046.
Chen, W.; Wang, C.; Merrett, H.; Liu, S.; Chang, J. (2023). Electricity consumption prediction - A case study of a university library. Journal of Building Engineering (76), 106990.
Deloitte (2019). Ciudades energéticamente sostenibles: la transición energética urbana a 2030. Monitor Deloitte, marzo 2019. Madrid.
Fernández, F. J.; Silvestri, R.; Silva, L. I.; De Angelo, C. H. and García, M. (2024). "Caracterización Térmica de un Edificio de la Facultad de Ingeniería de la UNER a partir de simulaciones con EnergyPlus," *2024 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, San Nicolás de los Arroyos, Argentina, 2024, pp. 1-8, doi: 10.1109/ARGENCON62399.2024.10735941.
PROFEE (2023). Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitaria. Resumen-documento interno.
Tathagat, D.; Dod, R. (2015). The inception and evolution of EIA and environmental clearance process–laying emphasis on sustainable development and construction. Int. J. Eng. Res. Appl. (5), pp. 22-28.
UNEP- SBCI United Nations Environment Programme, Sustainable Buildings & Climate Initiative (2009) Buildings and Climate Change. Summary for Decision-Makers. http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf
Yang, H.; Ran, M; Zeng, P. (2023). Patterns and influencing factors analysis of electricity consumption in university dormitories based on balance point temperatures. Building and Environment (228), 109679. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109679
Zhou, Y.; Sun, L; Hu, X.; Ma, L. (2021). Clustering and statistical analyses of electricity consumption for university dormitories: A case study from China. Energy and Buildings (245), 110862, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110862

CHARACTERIZATION OF ELECTRICAL CONSUMPTION PATTERNS AND INSERTION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE UNER FACULTY OF ENGINEERING

ABSTRACT: This paper addresses the characterization of the electrical load curves of two sectors located in module 1 of the UNER Faculty of Engineering and analyzes the installation of photovoltaic (PV) systems for their partial coverage. The first sector is intended for the technological connection and coworking area, and the second for administrative offices and classrooms. Empirical measurements of electrical demand were taken during the year 2024 at an interval of one hour. The results allow us to identify characteristic patterns in the use of electricity in the building, in terms of its HVAC systems, lighting, operating hours, etc., and, furthermore, to estimate the direct coverage that the demand would have from the energy generated by the PV system, the energy to be taken from the public grid, and the surplus energy for each case.

Keywords: Electrical consumption, smart meter, load curves, photovoltaic energy, educational building.

ASADES

Actas de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 157-168 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

OBRAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS MUNICIPALES LA EXPERIENCIA DEL PROGRAMA EUROCLIMA EN ARGENTINA

Horacio Martino[1]
[1]Dirección de Asuntos Municipales (DAM) - Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
Edificio Sergio Karakachoff UNLP, Calle 48 575, piso 4, oficina 406, C.P. B1900AMW - La Plata
Web: https://unlp.edu.ar/municipios/ Tel. +54 0221-6447051 – +54 9 0221-4365704
e-mail: horacio.martino@presi.unlp.edu.ar

RESUMEN: En el artículo se presentan las 8 obras de rehabilitación energética realizadas en el marco del Proyecto Edificios Municipales Energéticamente Sustentables, impulsado por el programa Euroclima, liderado por la Universidad Nacional de La Plata y coordinado por la Dirección de Asuntos Municipales. Entre septiembre de 2020 y mayo de 2025, se diseñaron 5 componentes y se ejecutaron 10 productos, entre los que se destaca el producto 9: Ejecución de proyectos piloto de rehabilitación energética en edificios municipales. Estas obras se concretaron a partir de la propuesta de rehabilitación energética surgida de las auditorías energéticas implementadas en los edificios y del diseño ejecutivo de los proyectos, basado en la mejora de la envolvente térmica. Para su ejecución se convocaron a licitaciones de obra pública nacional y una vez finalizadas las obras, se auditaron 4 edificios, 2 durante el verano y 2 en invierno, con el fin de obtener mediciones in situ sobre el comportamiento energético y térmico tras las intervenciones. El trabajo posibilitó diagnosticar la eficiencia energética de los edificios municipales, así como identificar las mejoras obtenidas a partir de las obras de rehabilitación, tanto en el desempeño energético como en el impacto económico y ambiental.

Palabras clave: eficiencia energética; rehabilitación energética; edificios municipales.

INTRODUCCIÓN

La realidad actual del cambio climático nos presenta el desafío de alcanzar una transición energética justa y sostenible; entendida como un proceso de transformación de los sistemas energéticos a otros menos contaminantes, menos dependientes de combustibles fósiles y a la promoción de fuentes de energía renovables asequibles y limpias, así como del ahorro y la eficiencia energética (Martino y Tauber, 2024b; Martino, 2024c).

En relación a los principales sectores de consumo energético, a nivel global, resulta importante destacar que la mitad de la energía a nivel mundial se utiliza en los edificios, principalmente, para calentamiento, enfriamiento y climatización (Agosti y Luna, 2022).

Este último dato es especialmente relevante, porque estos sectores son prioritarios para nuestra labor, sobre todo, en lo relacionado con las infraestructuras, dado que representan la mitad del consumo energético. Por dicho motivo, abordar este problema es fundamental para lograr una transición energética justa y sostenible (Bertinat, 2024).

En este contexto, el proyecto Edificios Municipales Energéticamente Sustentables (Proyecto EMES), seleccionado junto a 8 proyectos de América Latina, cuenta con financiación de la Unión Europea, a través del programa Euroclima y se ejecuta localmente por medio de la Agencia Francesa de Desarrollo en la Argentina (AFD) (Martino, 2024a; Martino, 2024b; Martino, 2024c; Martino, 2024d).

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

La Universidad Nacional de La Plata (UNLP) es la entidad responsable y líder del proyecto (Martino, 2024a), como representante del Consorcio que integran, la Red Argentina de Municipios frente al Cambio Climático y el Copenhagen Centre on Energy Efficiency, siendo coordinado por la Dirección de Asuntos Municipales de la UNLP.

Entre sus objetivos destacan la mejora de la eficiencia energética en los edificios municipales y el fortalecimiento de las capacidades de gestión de los municipios, con el propósito de integrar la acción climática y la transición energética verde y justa en la agenda de los gobiernos locales (Martino, 2023).

En ese camino se desarrollaron 10 productos, entre los que se destaca el producto 9: Ejecución de proyectos piloto de rehabilitación energética en edificios municipales, cuyo objetivo es mejorar su eficiencia energética, así como reducir su impacto económico y ambiental.

Esto se logra mediante la implementación de diversas medidas tecnológicas y de diseño que optimizan el uso de los recursos energéticos, reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoran el confort de los ocupantes.

Para seleccionar las obras de rehabilitación energética del Proyecto EMES, se priorizaron municipios comprometidos con la acción climática y la transición energética, enfocando las intervenciones en equipamientos sociales destinados a los sectores más vulnerables y a la comunidad en general.

En el tercer año del proyecto, entre 2023 y 2024, se ejecutaron 4 obras:

- Edificio Municipal de Camilo Aldao, provincia de Córdoba
- Sistema para la Atención Médica de la Comunidad (SAMCo) de Soldini, provincia de Santa Fe
- Jardín de Infantes Nº 337 de San Carlos Sud, provincia de Santa Fe
- Centro de Desarrollo Infanto Familiar de San Miguel, provincia de Buenos Aires

(a) *(b)* *(c)* *(d)*

Figura 1: (a) Edificio Municipal de Camilo Aldao, (b) SAMCo de Soldini, (c) Jardín de Infantes Nº 337 de San Carlos Sud, (d) Centro de Desarrollo Infanto Familiar de San Miguel

En el cuarto año del proyecto, entre 2024 y 2025, se ejecutaron 4 obras:

- Edificio Municipal de Caseros, provincia de Entre Ríos
- Cine Teatro Plaza de Godoy Cruz, provincia de Mendoza
- Edificio Municipal de Bell Ville, provincia de Córdoba
- Centro Municipal Distrito Centro de Rosario, provincia de Santa Fe

(a) (b) (c) (d)

Figura 2: (a) Edificio Municipal de Caseros, (b) Cine Teatro Plaza de Godoy Cruz, (c) Edificio Municipal de Bell Ville, (d) Centro Municipal Distrito Centro de Rosario

Estas obras se concretaron a partir de la propuesta de rehabilitación energética surgida de las auditorías energéticas implementadas en los edificios y del diseño ejecutivo de los proyectos, ambos realizados por el Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP (Martino, 2023).

Las principales estrategias de rehabilitación energética se centran en optimizar la envolvente térmica de los edificios a través de diversas soluciones (Martino y Tabuer, 2024a):

- Techo Invertido
- Aislación Térmica en Muros (Sistema EIFS)
- Aislación Térmica en cielorrasos
- Techo Frío
- Hall Frío (Carpinterías de Alta Eficiencia Energética)

Si bien en el informe técnico de las auditorías energéticas se recomienda intervenir de manera integral sobre toda la envolvente térmica de los edificios, el presupuesto disponible obligó a optar por acciones parciales en cada uno de los ocho casos seleccionados. La definición de dichas intervenciones respondió a un criterio de maximización del impacto energético y económico esperado, priorizando en cada edificio las medidas con mayor incidencia sobre la eficiencia térmica y la relación costo-beneficio.

Para su ejecución, se convocaron a licitaciones de obra pública nacional a través de la Secretaría de Planeamiento, Obras y Servicios y la Secretaría de Administración y Finanzas de la UNLP. Una vez finalizadas las obras, a través de la Consultora TERAO se auditaron 4 edificios, 2 durante el verano y 2 en invierno, con el fin de obtener mediciones in situ sobre el comportamiento energético y térmico tras las intervenciones.

Los edificios auditados en invierno fueron el Centro de Desarrollo Infanto Familiar de San Miguel (provincia de Buenos Aires) y el Edificio Municipal de Camilo Aldao (provincia de Córdoba); en verano, el Edificio Municipal de Bell Ville (provincia de Córdoba) y el Cine Teatro Plaza de Godoy Cruz (provincia de Mendoza).

OBRAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EJECUTADAS EN LA PRIMERA ETAPA

En el tercer año del proyecto, entre 2023 y 2024, se ejecutaron 4 obras de rehabilitación energética.

El Edificio Municipal de Camilo Aldao se localiza en la provincia de Córdoba. Con una superficie de 297 m², fue construido en la década de 1970 y remodelado en 1985. En él se llevan a cabo las funciones del Departamento Ejecutivo, el Poder Legislativo, el Tribunal de Cuentas, el Juzgado de Paz y el Registro Civil, entre otras actividades.

El edificio del Sistema para la Atención Médica de la Comunidad se localiza en la comuna de Soldini, provincia de Santa Fe. Es una edificación de 147 m² destinada a la salud pública, construida en la década de 1960 sobre una vivienda unifamiliar y reacondicionada en 2018 para convertirse en un Centro de Salud. Recientemente, el centro ha incrementado su nivel de complejidad y ha pasado a formar parte del Sistema Provincial de Salud, con el objetivo de brindar una atención más adecuada a toda la comunidad de Soldini.

En ambos casos, si bien se propuso optimizar de manera integral toda la envolvente térmica de los edificios, por las limitaciones presupuestarias y el análisis de las estrategias de rehabilitación, se priorizó la intervención en cubierta, a través de la solución Techo Invertido.

Los componentes utilizados en la solución Techo Invertido incluyen una capa de 8 cm de EPS (placas de poliestireno expandido de 30 kg/m³ sobre la losa existente), recubierta con una malla geotextil ligera y 6 cm de piedra pómez como protección mecánica y contra los rayos UV.

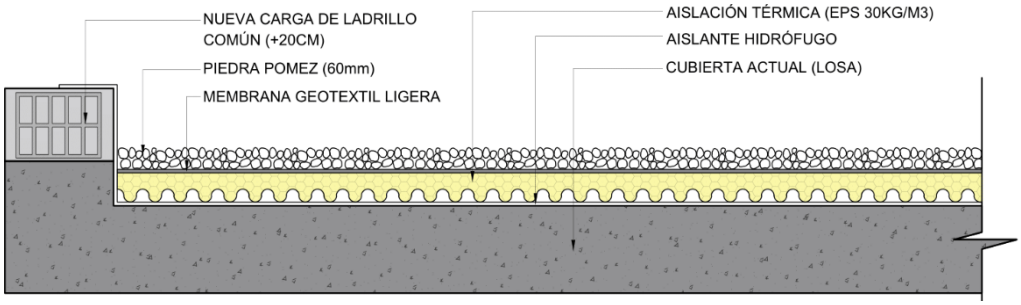


Figura 3: Detalle de solución Techo Invertido

En el edificio municipal de Camilo Aldao, la ejecución de la obra se realizó mediante una Licitación de Obra Pública Nacional, por un monto total de $11.458.814 (€19.913). Los trabajos comenzaron en diciembre de 2023 y finalizaron en enero de 2024.

En el caso del edificio de la comuna de Soldini, también se llevó a cabo una Licitación de Obra Pública Nacional para ejecutar la obra, con un presupuesto total de $7.046.015 (€12.417). Las tareas comenzaron en diciembre de 2023 y se completaron en un plazo de 30 días.

(a) (b)

Figura 4: Final de obra, a) edificio municipal de Camilo Aldao b) edificio del SAMCo de Soldini

El edificio del Jardín de Infantes Nº 337 se localiza en la comuna de San Carlos Sud, provincia de Santa Fe. Con una superficie de 397 m², fue construido en 2017 y perteneció inicialmente a la Comuna, pasando recientemente a la provincia. Cumple una función social y educativa de gran importancia, dada su relevancia para los aprendizajes escolares de la comunidad.

En este caso, aunque se propuso una optimización integral de toda la envolvente térmica del edificio, las limitaciones presupuestarias y el análisis técnico de las estrategias de rehabilitación llevaron a priorizar la intervención en la fachada, a través de la Aislación Térmica en Muros (Sistema EIFS).

Se aplicó el Sistema EIFS en todo el perímetro exterior del edificio, comenzando con la colocación de una base COAT (mortero premezclado a base de cemento) sobre el muro, seguida de un perfil de arranque, que debe colocarse al menos a 10/15 cm del piso. Luego, se dispone una placa de 5 cm de EPS (poliestireno expandido de 30 kg/m³), otra capa de base COAT reforzada con malla de Fibra de Vidrio 10 x 10 de 110 g/m² (con doble malla hasta 1,5 m de altura) y, finalmente, un revestimiento exterior de terminación con pintura protectora.

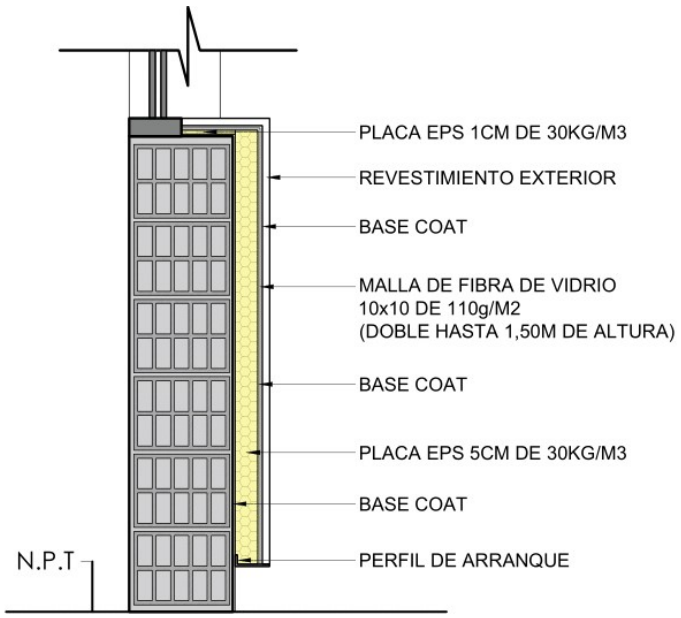


Figura 5: Detalle de Aislación Térmica en Muros (Sistema EIFS)

En el edificio del Jardín de Infantes Nº 337, la obra se ejecutó mediante una Licitación de Obra Pública Nacional, con un presupuesto total de $13.328.078 (€23.176). Los trabajos comenzaron en octubre de 2023 y se completaron en un plazo de 45 días.

El edificio del Centro de Desarrollo Infanto Familiar se localiza en la ciudad de San Miguel, provincia de Buenos Aires. Es un edificio municipal de 314 m², construido en 2018, que cumple una importante función social en una zona de barrios vulnerables y población de bajos ingresos.

En este edificio, también se propuso una optimización integral de toda la envolvente térmica, pero por razones presupuestarias y el análisis técnico de las estrategias de rehabilitación llevaron a priorizar la intervención en la cubierta y entretecho, a través de la Aislación Térmica en Cielorrasos, complementado con la pintura de la cubierta.

En este caso, se colocó sobre el cielorraso un fieltro de 8 cm de lana de vidrio, recubierto en una de sus caras con foil de aluminio liso y una solapa de 10 cm para garantizar la continuidad y se pintó la chapa negra de la cubierta de blanco refractante, a fin de reducir un 80% la absorción de la radiación solar.

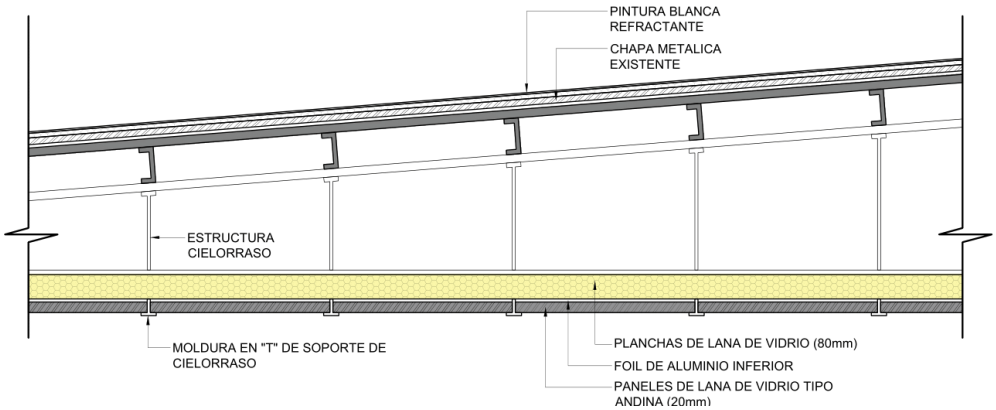


Figura 6: Detalle de Aislación Térmica en Cielorrasos y pintura de la cubierta

Para la concreción de la obra, luego de declarar desierta la Licitación de Obra Pública Nacional, se convocó a una Contratación Directa mediante compulsa abreviada por urgencia, por un monto de $14.985.000 (€17.599), iniciando la obra en enero de 2024 y finalizando en febrero del mismo año.

(a) (b)

Figura 7: Final de obra, a) edificio del Jardín de Infantes Nº 337 de San Carlos Sud y b) edificio del Centro de Desarrollo Infanto Familiar de San Miguel

OBRAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EJECUTADAS EN LA SEGUNDA ETAPA

En el cuarto año del proyecto, entre 2024 y 2025, se ejecutaron 4 obras de rehabilitación energética.

El Edificio Municipal de Caseros está ubicado en la calle 23 N° 456, en el municipio de Caseros, provincia de Entre Ríos. Se trata de un edificio de 324 m², construido en 1979, destinado a las funciones propias de los gobiernos municipales.

En este caso, aunque se propuso una optimización integral de toda la envolvente térmica del edificio, las limitaciones presupuestarias, junto con el análisis técnico de las estrategias de rehabilitación, llevaron a priorizar la intervención en los cielorrasos y el entretecho. La solución adoptada incluyó la incorporación de aislación térmica en cielorrasos, complementada con la unificación de cielorrasos de PVC y la instalación de luminarias tipo panel LED.

En todos los sectores del edificio se previó la colocación de placas de PVC (Policloruro de vinilo), en tablillas de 0,20 m de ancho color blanco y se incorporaron planchas de lana de vidrio de 8 cm de espesor con foil de aluminio inferior (tipo: Isover Rolac Plata Cubierta Hidrorepelente 80). Además, se instalaron equipos de iluminación tipo panel LED de 60 x 60 cm de 60w para embutir de acuerdo a las bocas actuales.

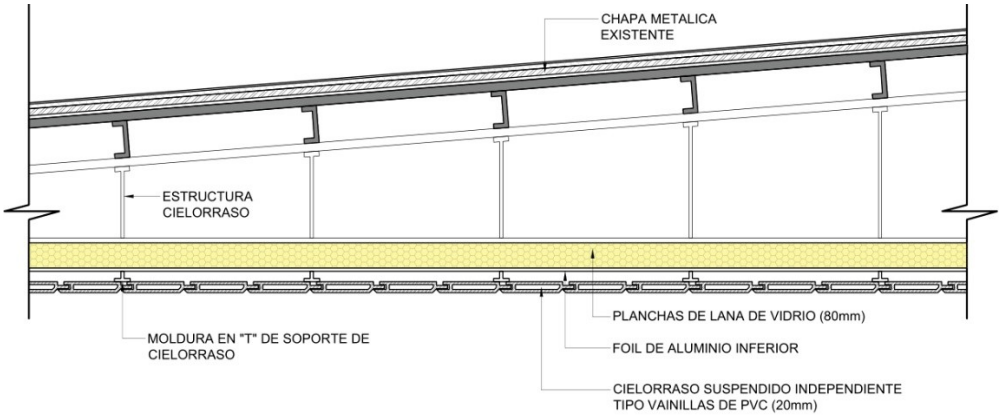


Figura 8: Detalle de Aislación Térmica en Cielorrasos y unificación de cielorrasos de PVC

Para la concreción de la obra, se convocó a una Licitación de Obra Pública Nacional por un monto de $28.079.098 (€26.844), iniciando la misma en octubre de 2024 y finalizando en un plazo de 60 días.

El Cine Teatro Plaza se localiza en la calle Colón 27, entre Rivadavia y Lavalle, en la ciudad de Godoy Cruz, provincia de Mendoza, Argentina. Este gran auditorio de 1.501 m² abrió sus puertas en 1946 y, hasta 1988, funcionó exclusivamente como cine. A partir de ese año, la comuna comenzó a utilizarlo también como teatro, desempeñando un rol cultural de gran importancia para la comunidad.

En el Cine Teatro Plaza, se propuso una optimización integral de toda la envolvente térmica del edificio, aunque por razones presupuestarias y el análisis técnico de las estrategias de rehabilitación llevaron a priorizar la intervención en la cubierta, a través de la solución Techo Frío.

Esta solución consiste en la aplicación de 2 capas superpuestas, una de poliuretano proyectado (espesor mínimo 30 mm), aplicado "in situ" (aislamiento termo-hidrófugo y anti-condensante) y la otra de pintura acrílica (protección UV), aplicada a razón de 1 kg por m². Además, se reemplazarán las canaletas existentes por nuevas de chapa de zinc calibre 24, con cupertina sobre el muro de carga.

El tratamiento con spray de poliuretano forma un manto aislante monolítico, totalmente adherido a la superficie, sin juntas ni puentes térmicos. La alta capacidad aislante de este material se debe a la muy baja conductividad térmica que posee el gas espumante, ocluido en el interior de sus celdas cerradas. Como la espuma de poliuretano no debe quedar expuesta a la intemperie porque la humedad y los rayos UV causan su degradación progresiva, se lo protegerá con 2 manos de pintura acrílica de base acuosa libre de solventes de color blanco.

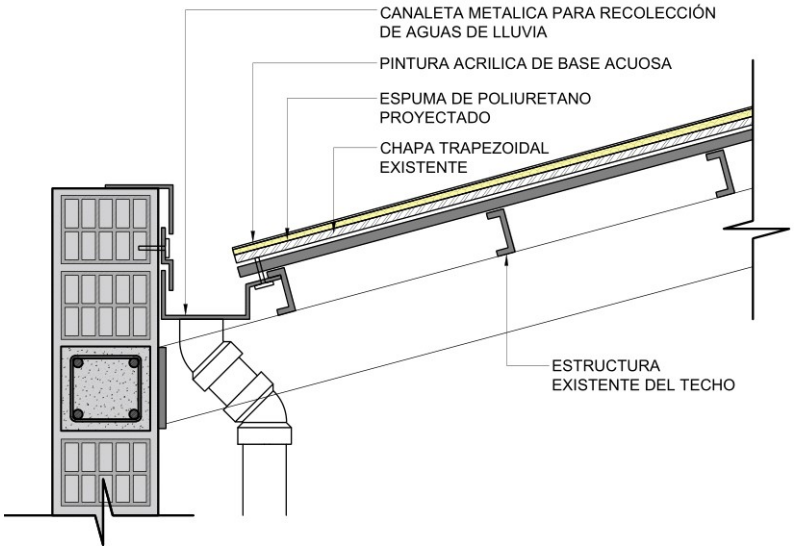


Figura 9: Detalle de Techo Frío, poliuretano proyectado y pintura acrílica con nuevas canaletas

Para llevar a cabo la obra, se convocó a una Licitación de Obra Pública Nacional, por un monto de obra de $72.343.246 (€68.143), iniciando la misma en diciembre de 2024 y finalizando en febrero de 2025.

(a) *(b)*

Figura 10: Final de obra, a) edificio municipal de Caseros, b) Cine Teatro Plaza de Godoy Cruz

El edificio municipal de Bell Ville se localiza en la intersección de las calles 25 de Mayo y Córdoba, de esa ciudad, en la provincia de Córdoba. Con una superficie de 1.135 m², fue construido en 1944 y alberga diversas dependencias donde se realizan trámites y actividades relacionadas con las áreas de Gobierno, Economía, Desarrollo Social, Obras, Servicios y Ambiente.

En este caso, si bien se propuso optimizar de manera integral toda la envolvente térmica del edificio, por las limitaciones presupuestarias y el análisis de las estrategias de rehabilitación, se priorizó la intervención en cubierta, a través de la solución Techo Invertido.

La implementación de la solución Techo Invertido (en las terrazas 1 Y 2), consiste en la colocación de una capa de 8 cm de EPS (placas de poliestireno expandido de 30 kg/m3 sobre la losa), recubierta con una malla geotextil ligera y 6 cm de piedra pómez como protección mecánica y UV.

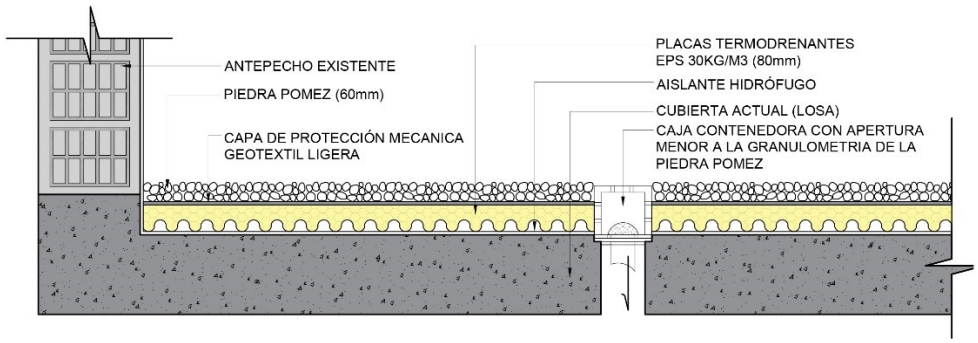


Figura 11: Detalle de solución Techo Invertido

Para la concreción de la obra, convocó a una Licitación Pública de Etapa Única Nacional, con un monto de $89.743.107 (€84.532). La obra comenzó en diciembre de 2024 y culminó en enero de 2025.

El Centro Municipal Distrito Centro se localiza en la Avenida Wheelwright, entre las calles Presidente Roca y Corrientes, en la ciudad de Rosario, provincia de Santa Fe. Es un edificio municipal de 1.620 m², donde se desarrollan trámites, capacitaciones y jornadas de participación ciudadana, desempeñando un rol importante en la descentralización de las actividades municipales de la ciudad.

En este caso, si bien se propuso optimizar de manera integral toda la envolvente térmica del edificio, por razones presupuestarias y el análisis de las estrategias de rehabilitación, se priorizó la intervención en carpinterías, a través de la solución Hall Frío.

Esta solución, previó el reemplazo de las aberturas de acceso (exteriores) y laterales (interiores) por carpinterías de Alta Eficiencia Energética con perfilería de aluminio y tecnología de Ruptura de Puente Térmico (RPT), combinadas con vidrios Doble Vidriado Hermético (DVH) LowE 3-12-3, que ofrecen una excelente solución para mejorar el aislamiento térmico y acústico en edificaciones.

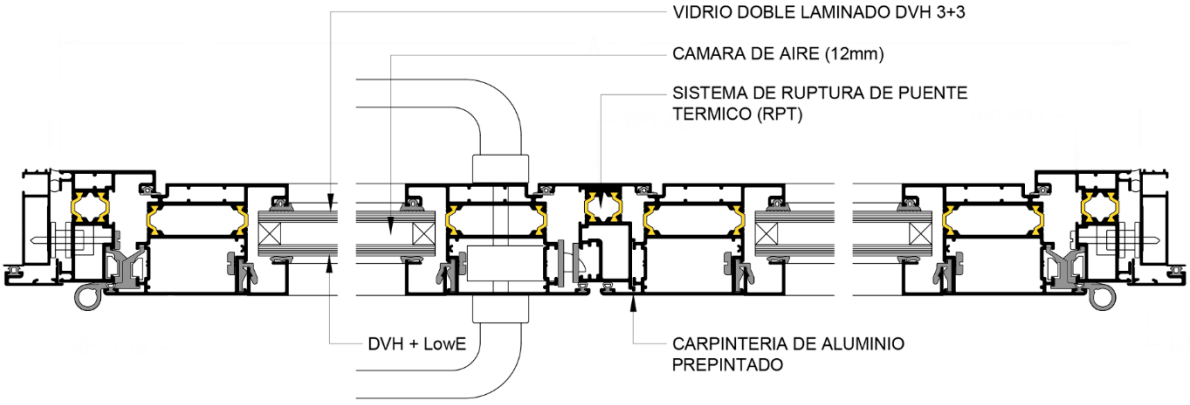


Figura 12: Detalle de Carpinterías de Alta Eficiencia Energética

Para la concreción de la obra, convocó a una Licitación Pública de Etapa Única Nacional, con un monto de $85.179.973 (€ 80.360). La obra comenzó en diciembre de 2024 y culminó en junio de 2025.

(a) (b)

Figura 13: Final de obra: a) edificio municipal de Bell Ville, b) Centro Municipal de Rosario

RESULTADOS

Finalizadas las obras, se auditaron 4 edificios municipales, 2 durante el verano y 2 en invierno, con el fin de obtener mediciones in situ sobre el comportamiento energético y térmico tras las intervenciones (TERAO, 2024). Los edificios auditados en invierno fueron el Edificio Municipal de Camilo Aldao y el Centro de Desarrollo Infanto-Familiar de San Miguel, y en verano, el Cine Teatro Plaza de Godoy Cruz y el Edificio Municipal de Bell Ville.

Al respecto, es importante aclarar que las intervenciones parciales en la envolvente de un edificio generan beneficios energéticos limitados y no proporcionales respecto de una rehabilitación integral. Esto se debe a que el edificio funciona como un sistema térmico global, donde las zonas no intervenidas siguen siendo puntos críticos de pérdida energética, lo que reduce la eficacia de una actuación parcial.

Los niveles de ahorro energético y confort térmico observados en los edificios varían significativamente según las partes de la envolvente que hayan sido intervenidas. Componentes como cubiertas o fachadas expuestas a condiciones climáticas más severas suelen registrar, en su estado original, mayores pérdidas térmicas.

En este contexto, el trabajo desarrollado por la Consultora TERAO permitió no solo diagnosticar el desempeño energético de los edificios, sino también identificar aquellas áreas con mayor potencial de mejora, tanto en términos de impacto económico -a través del retorno de la inversión- como ambiental, -mediante la mitigación del cambio climático-.

TERAO (2024) aplicó el protocolo internacional de medición y verificación IPMVP, seleccionando la Opción D (simulación energética). El proceso combinó mediciones in situ (temperatura, humedad, consumo eléctrico y de gas) con simulaciones dinámicas para evaluar los ahorros energéticos y el confort térmico.

Las simulaciones se realizaron con el software DesignBuilder/EnergyPlus, que permite modelar el comportamiento térmico de los edificios bajo distintas condiciones climáticas y de uso. Para validar los modelos, se ajustaron los parámetros según las mediciones reales de temperatura y humedad registradas en oficinas representativas, comparando resultados y corrigiendo desvíos.

El análisis consideró:

- Elementos constructivos de la envolvente (muros, cubiertas, carpinterías).
- Ocupación (cantidad de personas, horarios de uso).
- Equipos técnicos (climatización, iluminación, ventilación).
- Factores climáticos (temperatura, humedad, radiación solar).

El confort térmico se evaluó con la metodología de Fanger (ASHRAE 55-2017), determinando el nivel de satisfacción de los ocupantes en invierno y verano. Finalmente, se definió una línea base de consumo (año previo a las obras) y se compararon los resultados posteriores, cuantificando ahorros energéticos, económicos y ambientales.

			DESEMPEÑO ENERGÉTICO					IMPACTO ECONÓMICO		IMPACTO AMBIENTAL	
	OBRA	PRESUPUESTO €/m²	AHORRO ☀	AHORRO AA	TOTAL KWh	CONFORT INVIERNO	CONFORT VERANO	AHORRO US$ / AÑO	RECUPERO INVERSIÓN	GEI EVITADOS $KgCO_2e$/año	GEI / m² $KgCO_2e/m^2$/año
1° ETAPA 2024 INVIERNO	CAMILO ALDAO Techo Invertido	€ 19.913 79,7 €/m²	24%	12%	7.083	7%	31%	816	9 años	2.632	8,8
	SAN MIGUEL Aislación térmica en cielorrasos	€ 17.599 57,9 €/m²	10%	8%	7.322	3%	23%	1.100	9,5 años	3.147	10,0
2° ETAPA 2025 VERANO	GODOY CRUZ Techo Frío	€ 67.461 97,6 €/m²	0%	55%	12.458	1%	67%	7.535	7,5 años	6.579	8.66
	BELL VILLE Techo Invertido	€ 84.532 48,7 €/m²	0%	29%	7.868	0%	40%	4.759	12 años	7.551	17.40

Figura 14: Estudio de medición y verificación del desempeño energético. (TERAO 2024)

Los valores de ahorro y confort medidos en los edificios varían considerablemente según las partes de la envolvente que hayan sido intervenidas. Algunas zonas, como cubiertas o fachadas expuestas a climas más severos, pueden presentar inicialmente mayores pérdidas térmicas. En ese sentido, en calefacción, se obtuvieron ahorros de entre un 10% y un 24%; y en aire acondicionado, los ahorros alcanzaron hasta un 55%, considerando las intervenciones parciales realizadas.

En términos de confort higrotérmico, se observaron mejoras significativas en los espacios intervenidos, con incrementos del 23 % al 67 % en las condiciones de verano, mientras que en el período invernal las mejoras fueron más moderadas, registrando incrementos por debajo del 10 %. Respecto al desempeño energético, los ahorros estimados a partir de los procesos de Medición y Verificación oscilaron entre 7.083 y 12.458 kWh anuales por edificio. Estas estimaciones surgen de un enfoque combinado que incluye tanto simulaciones energéticas como análisis de datos reales de consumo post-obra.

En este contexto, es importante distinguir entre distintos tipos de energía considerados: la energía final, correspondiente al consumo efectivo registrado en facturas de servicios energéticos (electricidad y gas); la energía útil, que representa la energía requerida para mantener las condiciones de confort en los espacios habitables, y que suele estimarse mediante simulaciones; y la energía virtual, entendida como la demanda energética evitada como resultado de mejoras pasivas en la envolvente, no necesariamente reflejada en la facturación pero relevante desde el punto de vista del confort térmico alcanzado.

El análisis integral de estos indicadores permite una caracterización más precisa del impacto energético de las intervenciones, considerando no solo la reducción del consumo medido, sino también el mejoramiento de las condiciones interiores con menor dependencia de sistemas activos de climatización.

En cuanto al impacto económico, las obras piloto ejecutadas implicaron inversiones totales que oscilaron entre €17.599 y €84.532 por edificio, dependiendo de la técnica utilizada, la superficie intervenida y el tipo de envolvente tratada. Para facilitar la comparación entre proyectos, se estimó el costo por metro cuadrado de intervención: en Camilo Aldao fue de aproximadamente €79,7/m², en San Miguel €57,9/m², en Bell Ville €97,6/m², y en Godoy Cruz €48,7/m².

Estas diferencias reflejan no solo las escalas y características constructivas de cada edificio, sino también el grado de intervención requerido en cada caso. En los 4 edificios, los retornos parciales de la inversión se estimaron entre 7,5 y 12 años, de acuerdo con los costos actuales de electricidad y gas en cada provincia.

Si las obras de rehabilitación energética se ejecutaran de forma integral, en toda la envolvente del edificio, estos plazos de recuperación de la inversión se reducirían considerablemente, acercándose a los valores proyectados en etapa de diseño. Además, si las intervenciones se complementaran con otras estrategias de rehabilitación energética (sistemas de climatización eficientes, integración de energías renovables, domótica y gestión inteligente y otras tecnologías innovadoras), el impacto positivo sobre el retorno sería aún mayor.

En relación al impacto ambiental (mitigación del cambio climático), las estimaciones de reducción de gases de efecto invernadero (emisiones evitadas) se calcularon a partir de los factores de conversión publicados por la Secretaría de Energía para el año 2023: 0,4293 $kgCO_2/kWh$ para electricidad y 0,1803 $kgCO_2/kWh$ para gas natural. Las emisiones evitadas de GEI se calcularon entre 2.632 KgCO2/año (Camilo Aldao) y 7.551 KgCO2/año.

CONCLUSIONES

A modo de conclusión, las inversiones realizadas, aunque parciales, resultaron positivas y evidentes en todos los ámbitos, tanto en su rol educativo y transformador como en el consumo, los gastos municipales y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas soluciones generan un gran impacto en el desempeño energético, que a su vez se refleja en el confort de los usuarios, ya sean empleados de la institución o ciudadanos. Cada elemento de la envolvente tiene una influencia diferente en los intercambios térmicos de los espacios internos que visitan o transitan los edificios intervenidos.

Los períodos de retorno alcanzados son positivos y representan una condición mínima, aunque pueden reducirse notablemente mediante una intervención integral de los edificios, articulada con la implementación de estrategias conjuntas de uso, comportamiento y educación energética y ambiental de los usuarios (Martino, 2024b).

En todos los casos, las intervenciones en las cubiertas mejoran de forma contundente el confort durante el verano, ya que limitan los aportes térmicos de la radiación solar y logran reducir las temperaturas interiores en decenas de grados en algunos casos. Esto permite que muchos más días al año se mantengan dentro de los parámetros de confort sin necesidad de utilizar aire acondicionado. En invierno, los resultados en términos de confort son más difíciles de percibir, pero sí se reflejan en una reducción real del consumo energético y en ahorros en las facturas, dado que es posible alcanzar condiciones internas de confort con un uso menos intensivo de recursos naturales gracias a las medidas aplicadas.

Además, la disminución del consumo energético y del uso de recursos naturales se traduce directamente en una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a las metas climáticas tanto de los municipios como del país, además de los objetivos globales de sostenibilidad que compartimos como humanidad.

FUENTE DE FINANCIAMIENTO

Financiado por la Unión Europea, a través del Programa Euroclima, y ejecutado en Argentina por la Agencia Francesa de Desarrollo.

NOMENCLATURA

EMES: *Edificios Municipales Energéticamente Sustentables*
UNLP: *Universidad Nacional de La Plata*

REFERENCIAS

Bertinat, P. (2024). Retos para una Transición Energética Justa y Popular. Clase 4 Curso Virtual Introducción a las nuevas perspectivas de la Infraestructura Sostenible y Resiliente. Programa Organismos Provinciales. IPAP Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.

Martino, H. (Comp.). (2023). *Manual sobre la aplicación de medidas de eficiencia energética en edificios municipales: Proyecto Edificios Municipales Energéticamente Sustentables*. Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/148968

Martino, H. (2024). Giros de la arquitectura con perspectiva ambiental: eficiencia energética en edificios públicos. En Proyecto Edificios Municipales Energéticamente Sustentables. ARQUISUR 2024.

Martino, H. (2024). Avances y resultados del proyecto edificios municipales energéticamente sustentables - programa EUROCLIMA: Una experiencia innovadora liderada por la Universidad Nacional de La Plata. Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/164350

Martino, H. (2024). Hacia una transición energética verde y justa: Proyecto Edificios Municipales Energéticamente Sustentables. Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/164883

Martino, H. (2024). Obras de rehabilitación energética en municipios de Argentina: La experiencia del Proyecto Edificios Municipales Energéticamente Sustentables. Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/169316

Martino, H. y Tauber, F. (2024). Cuatro obras de rehabilitación energética en Argentina: La experiencia del Proyecto Edificios Municipales Energéticamente Sustentables. Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/166551

Martino, H. y Tauber, F. (2024). Proyectos de rehabilitación energética en edificios públicos: La experiencia del Proyecto Edificios Municipales Energéticamente Sustentables. Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/167464

Agosti, A., & Luna, M. (2022). Presentación del Producto 3: "Análisis de la situación actual de la eficiencia energética a nivel local y nacional". Red Argentina de Municipios frente al Cambio Climático (RAMCC). https://www.ramcc.net/post.php?f=noticias&id=1890

ENERGY REHABILITATION WORKS IN MUNICIPAL BUILDINGS THE EUROCLIMA PROGRAM EXPERIENCE IN ARGENTINA

ABSTRACT: This article presents the 8 energy rehabilitation works carried out within the framework of the Energy-Sustainable Municipal Buildings Project, promoted by the Euroclima program, led by the National University of La Plata and coordinated by the Municipal Affairs Directorate. Between September 2020 and June 2025, 5 components were designed and 10 products were executed, among which Product 9 stands out: Implementation of pilot energy rehabilitation projects in municipal buildings. These works were completed based on the energy rehabilitation proposals that emerged from the energy audits implemented in the buildings and the executive design of the projects, which was based on improving the thermal envelope. For their execution, national public works tenders were called, and once the works were completed, 4 buildings were audited—2 during summer and 2 in winter—in order to obtain in-situ measurements of energy and thermal behavior following the interventions. This work made it possible to diagnose the energy efficiency of municipal buildings, as well as to identify the improvements achieved through the rehabilitation works, both in energy performance and in economic and environmental impact.

KEYWORDS: energy efficiency; energy rehabilitation; municipal buildings.

ASADES

Acta de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 12, pp 169-181 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

GESTIÓN EFICIENTE DE RESERVAS HÍDRICAS EN HOTELES UTHGRA LOS COCOS (CÓRDOBA- ARGENTINA) MEDIANTE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS CON ENERGÍA SOLAR

Cecilia Chosco Díaz[1], Laura Cardozo[1], Diego Bustos[2], Patricia Mantovano[3]
[1]Instituto de Industria- Universidad Nacional de General Sarmiento.
[2]Hotel UTHGRA Los Cocos, Córdoba.
[3]Hoteles UTHGRA Dirección Turismo, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
Tel. +541135870594, e-mail: cdiaz@campus.ungs.edu.ar

RESUMEN: El Hotel UTHGRA Los Cocos, en Córdoba, Argentina, se ubica en una zona de vulnerabilidad hídrica, situada entre ríos de caudal irregular y dependiente de perforaciones y lluvias estacionales. A esta situación se suman incendios forestales recurrentes por sequías y causas humanas. En este contexto, el hotel ha implementado desde 2012 diversos proyectos de gestión ambiental para reducir el consumo de agua y mejorar la sostenibilidad. Desde 2023, en articulación con el Instituto de Tecnología Industrial, desarrolla dispositivos electrónicos alimentados con energía solar que miden niveles y temperatura de cisternas, enviando datos en tiempo real para optimizar el control de reservas hídricas. El artículo analiza la situación hídrica de la región de un caso testigo, describe el proyecto, se presentan resultados y acciones futuras en eficiencia y gestión ambiental.

Palabras clave: eficiencia, agua, energía, dispositivos electrónicos.

INTRODUCCIÓN

El Hotel UTHGRA Los Cocos ubicado en la provincia de Córdoba, Argentina, se encuentra en una región donde la gestión eficiente del agua es crucial. En los últimos años, el lugar enfrenta desafíos ambientales y situaciones críticas debido al escaso acceso al agua que se volvió un problema constante. Los Cocos está entre los ríos Dolores y Calabalumba, que poseen un régimen irregular, torrentosos, en época de lluvias, y modestos, casi hasta desaparecer, en época de sequía (Álamos, 2021). En este sentido el hotel depende de perforaciones y de reservorios que se alimentan únicamente de lluvias estacionales. A esto se le suma otro fenómeno cada vez más frecuente, los incendios forestales, ocasionados por la sequía y, en ocasiones, por la acción humana. Gudynas (2015), afirma que la situación ambiental no es sólo grave, sino que el deterioro ambiental global y también en América Latina, es mayor de lo que se acepta. En sus palabras, vivimos en un contexto de alerta sobre alteraciones en los ciclos biogeoquímicos y niveles de concentración de dióxido de carbono que han sobrepasado límites planetarios.

Frente al escenario crítico, y como parte del compromiso ético y ambiental, el equipo de gestión técnico del hotel UTHGRA Los Cocos implementó diversas iniciativas para reducir el consumo de agua y asegurar la sostenibilidad a largo plazo. En tal sentido, el objetivo del artículo es describir y analizar el proceso de eficiencia energética y uso de energía solar del hotel Los Cocos para desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real, que optimice el control de las reservas hídricas. Dicha organización es utilizada como caso testigo. Cabe señalar que se vienen desarrollando diversos proyectos de gestión ambiental desde 2012 hasta 2016 y, desde 2016 a 2020. Sin embargo, a partir del año 2023 se decidió articular con el Instituto de Tecnología Industrial, para diseñar y fabricar dispositivos electrónicos alimentados por energía solar. Los dispositivos miden tanto el nivel de las reservas como la temperatura de la cama de aire de las cisternas, enviando los datos a una base receptora ubicada en el hotel.

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En relación a la estructura del artículo, en primer lugar, brindaremos un panorama general sobre la situación de vulnerabilidad hídrica en la región Valle de Punilla, donde se encuentra el hotel; en segundo lugar, se describe el proceso de gestión eficiente del agua en el hotel de Los Cocos, a través del proyecto dispositivos de reserva de agua; en tercer lugar, se presentan los resultados y la proyección a futuro; finalmente las conclusiones y referencias.

EL DIAGNÓSTICO

El Cambio Climático es uno de los desafíos más importantes que enfrentamos, ya que pone en peligro los medios de subsistencia de millones de personas y constituye una amenaza muy grave para la salud humana, vivienda, producción de alimentos, bienes y servicios ecosistémicos, entre ellos el abastecimiento de agua potable. Asimismo, en estas últimas décadas, tanto la intensidad como la recurrencia de los fenómenos extremos ha aumentado, de manera significativa y también heterogénea según regiones. Como sostiene Pengue (2023), se observan eventos climáticos como olas de calor, precipitaciones intensas, tormentas intensas, ciclones, olas polares y sequías que nos conduce a enfrentar un camino de procesos irreversibles.

La complejidad del ciclo hidrológico a escala global y local, también se ve afectada por la variabilidad natural y otros impactos derivados de las actividades humanas. Y justamente, a partir de la interacción entre factores climáticos, sociales, ambientales, económicos y tecnológicos se configura la vulnerabilidad hídrica, es decir, el grado de susceptibilidad o fragilidad del sistema hídrico para mantener la disponibilidad y acceso al agua (Álamos, 2021).

Por ello, resulta fundamental implementar un modelo de gestión del agua que contemple esta complejidad, garantizando seguridad hídrica esencial para el sostenimiento de la vida humana y de los ecosistemas. Ahora bien, en este contexto, la eficiencia energética y la gestión del agua constituyen dos ejes fundamentales en la Agenda 2030 de la Organización de Naciones Unidas (ONU) (Macías García y Pita Cantos, 2024), en las estrategias de adaptación al cambio climático y que, además, se encuentran intrínsecamente vinculadas. En términos generales, García Martín (2022) entiende que la Agenda 2030, resulta ser una resolución internacional de la Asamblea General ONU desde 2015, que si bien no es jurídicamente vinculante, impone una obligación de responsabilidad internacional, es un instrumento de derecho internacional aceptado por los estados (p.127). En este marco, el enfoque integrado, nexo agua-energía-alimentación, establece la necesidad de describir y analizar las interdependencias de los sectores (Food and Agriculture Organization of the United Nations –FAO- 2014; Naranjo & Willards, 2020). Cada etapa del ciclo integral del agua potable: captación, potabilización y distribución- y -tratamiento y disposición-, consume energía. Por lo que, el ahorro de agua implica ahorro energético y viceversa. De esta manera, incorporar medidas de eficiencia energética en la gestión del agua como monitoreo inteligente, sistemas de control, bajo consumo y fuentes de energía renovable, contribuyen a la sostenibilidad ambiental, al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir la presión sobre los bienes comunes naturales.

En el caso de la provincia de Córdoba, según López et al (2021), presenta una marcada variabilidad en los ciclos hidrológicos, con alternancia de ciclos secos y húmedos, y distinta distribución espacial; dónde la región del noroeste (Figura 1), se encuentra expuesta al riesgo por sequías y la disponibilidad de agua no se encuentra necesariamente garantizada para consumo humano por escasez de fuentes superficiales.

Figura 1: Mapa de la región del Valle de Punilla. Fuente: Mapcreator.

En este contexto, la localidad de Los Cocos ha sido declarada en situación de emergencia hídrica, durante las últimas décadas. Actualmente, de acuerdo con el índice *Aqueduct del World Resources Institute* (WRI) (Kuzma et al, 2023), el nivel de riesgo hídrico en la zona es extremadamente alto (Figura 2), siendo las variables más críticas el estrés hídrico, el agotamiento de las fuentes de agua, el riesgo por sequía y los riesgos de tipo regulatorio y reputacional.

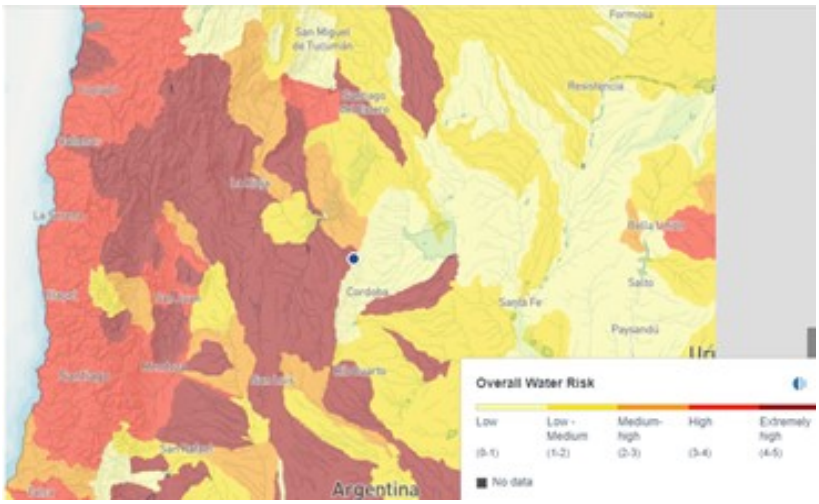


Figura 2: Atlas de Riesgo Hídrico. Fuente: Aqueduct del World Resources Institute (2024).

Desde la temporada de verano de 2011, un episodio de calor extremo provocó una sequía severa que derivó en una profunda crisis hídrica en la localidad. En ese mismo año, el hotel UTHGRA Los Cocos enfrentó la amenaza de cierre, lo que puso en riesgo una fuente clave de empleo para el Valle de Punilla. Esta situación límite impulsó una reflexión sobre la necesidad de actuar para resguardar tanto los derechos laborales como el ambiente y la comunidad local. Cabe destacar que el hotel cuenta con distintos puntos de tomas de agua: Pantano Grande, Pantano Furston, Pantano Chico, Pantano Central y una última perforación denominada “Galpón”. Todos estos puntos de extracción cuentan con un sistema

automático de dosificación para sanitización mediante “anolito”, un desinfectante fabricado en el hotel mediante una máquina de electrolisis. El anolito es un desinfectante natural producido en el hotel mediante un generador de aguas electroactivadas.

Según Denoya et al (2023):

> Aguas Electroactivadas puede generarse mediante la electrólisis de una solución de cloruro de sodio en una celda electrolítica generando agua electroactivada ácida oxidante en la zona del ánodo, la cual contiene alta concentración de oxígeno disuelto, cloro libre y un alto potencial de óxido reducción (p.1).

Esta tecnología consiste en una electrólisis parcial de una mezcla de agua y sal común de mesa, realizada en una celda electrolítica diafragmática, generando simultáneamente un desinfectante y un desengrasante, ambos biodegradables, inocuos y de impacto para la reserva hídrica.

En 2012 se decidió implementar un plan de gestión medioambiental en todos los hoteles de la UTHGRA que promoviera buenas prácticas ambientales, mediante inversiones y acciones que ayudarán a mejorar y optimizar la utilización de los escasos recursos existentes en los diferentes lugares, sin generar mayores impactos en las poblaciones del lugar.

METODOLOGÍA

Puesta en marcha del plan “25-25-25-25”

Entre los años 2012-2016, se puso en marcha el plan “25-25 25-25”, cuyo objetivo fue disminuir el 25% de emisiones de CO2, el 25% del consumo de energía eléctrica, el 25% de consumo de agua, y el 25% de reducción en la generación de residuos. Para el segundo tramo entre 2016-2020 se adicionaron los porcentajes de reducción que se obtuvieron por cada objetivo. A efectos de lograr una mayor eficiencia y una mejor alineación de esfuerzos hacia los objetivos comunes se incorporaron los conceptos de cliente interno, entendido como la cantidad de empleados fijos y temporales y cliente externo, siendo los pasajeros e invitados a eventos privados. Esto posibilitó realizar mediciones diarias de los diversos consumos, y detectar en la gestión diaria excesos, pérdidas, fugas, desvíos, anomalías. En términos de sistema se refieren a procesos entrópicos (Bertalanffy, 1968) que sustraen energía, por lo que deben revertirse.

Asimismo, para implementar el plan, se avanzó en una planificación basada en un seguimiento detallado y sistemático de múltiples indicadores técnicos, sociales y ambientales, que involucran a equipos de trabajo, estructuras de gestión, recursos y las consecuentes auditorías anuales. Esto llevó a realizar capacitaciones específicas del personal.

Desde el año 2023, mediante el apoyo del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), se comenzó a diseñar un sistema automatizado de medición de niveles de cisterna junto a la Municipalidad de Los Cocos. Y si bien, el sistema que se utilizaba, demostró funcionalidad y confiabilidad, se identificaron oportunidades de mejora técnica que podrían potenciar la eficiencia del sistema y reducir los riesgos operativos.

En efecto, a partir del año 2024, el equipo de técnicos del Hotel UTHGRA Los Cocos, diseñó un sistema experimental de sensorización digital y telemetría de datos para monitorear el nivel de agua en las cisternas que forman parte del sistema de generación y reservas de agua corriente.

El tablero de control y los indicadores

Para la gestión ambiental del Hotel UTHGRA Los Cocos se definieron indicadores claves de rendimiento (KPI) específicos. Los KPI, son una herramienta del sistema gestión ambiental (ISO 14000), que permite medir y evaluar el desempeño de la organización, así como planificar acciones, proyectos de mejora y verificación. La implementación de estos indicadores de rendimiento, se realiza a través de un tablero de control ambiental (Figura 3), en el que se presentan datos de: "consumo de agua", "consumo de energía eléctrica", "combustibles fósiles utilizados (gasoil/nafta para vehículos)," emisiones de CO_2", "generación de residuos: orgánicos, vidrio, papel y cartón, plásticos".

2025

Tablero de Control Hotel UTHGRA Los Cocos

Agua x dia 194097

Consumos	Agua m3	Gas Oil Litros	Gas Env (GLP) Litros	Gas Natural litros	Gas Oil vehículos Litros	E. Electrica Kw	Residuos Kilos	Vidrio kilo	Papel y cartón kilo	Plástico varios kilo	Pasajeros Totales	Empleados Totales	Eventos Invitados	COMBUSTIBLES + AGUA Huella de C Total (kg CO2)	kgCO2/ persona
01/25	2017			15034	512	66940	1036	149	116	27	3989	3968		19498.59073	3.26
02/25	1322			10307	1017	58963	812	157	83	46	2655	3556		18683.6245	4.21
03/25	355			16263	594	42843	136	50	30	7	890	3906		12924.61744	4.55

Figura 3. Tablero de control ambiental 2025. Fuente: elaboración propia.

Toda esta información se consigna mensualmente, así como la ocupación del hotel evaluando "pasajeros totales" y "empleados totales". A partir de ellos, se generan indicadores ambientales anuales que dan cuenta del consumo de energía por persona (kWh/ por persona), huella de carbono por persona y por noche (kg CO_{2eq}/persona-noche), consumo de agua (m^3/persona-noche) y residuos no reciclables por persona y por noche (kg/persona-noche), entre otros y se publican en la Memoria de Gestión Sustentable del hotel.

Implementación del proyecto para la gestión del agua

Como se mencionó previamente, el sistema de abastecimiento de agua del Hotel UTHGRA Los Cocos se compone de múltiples puntos de captación subterránea, distribuidos estratégicamente en distintas áreas del predio. Estos incluyen perforaciones y pozos que alimentan diversas cisternas, las cuales permiten el almacenamiento y posterior distribución del recurso para los distintos usos del establecimiento. En el sector denominado Pantano Grande, se encuentran tres perforaciones activas y un pozo principal, que abastecen una cisterna con capacidad de 40.000 litros. Por su parte, en el sector Pantano Furston, dos pozos permiten la alimentación de una cisterna de 5.000 litros.

En el área conocida como Pantano Chico, el sistema de captación está compuesto por tres pozos y una perforación adicional, que suministran agua a un conjunto de cuatro cisternas: dos de 15.000 litros y dos de 2.500 litros. En el Pantano Central, un pozo abastece tres cisternas de 15.000 litros cada una. Finalmente, en el sector del galpón, una perforación alimenta cuatro cisternas de gran volumen, cada una con una capacidad de 26.000 litros (Figura 4)

Figura 4. Sistema de abastecimiento de agua del Hotel UTHGRA Los Cocos. Fuente: elaboración propia.

El procedimiento operativo para garantizar la disponibilidad de agua incluye tanto tareas de control diario como el monitoreo del correcto funcionamiento de los componentes electromecánicos asociados.

Como primera medida, el personal técnico realiza la verificación diaria del nivel de la cisterna principal del hotel, de manera rudimentaria, lo cual permite asegurar el abastecimiento continuo al edificio central y activar alertas en caso de niveles bajos. Complementariamente, se controlaba el funcionamiento de las bombas elevadoras ubicadas en las salas 1 y 2, las cuales están diseñadas en sistema redundante, es decir, con bombas replicadas en ambas salas. Esta configuración asegura la continuidad del servicio frente a fallas mecánicas o interrupciones imprevistas. Este procedimiento de verificación se realizaba manualmente, y dependía del seguimiento visual y del registro en planillas de control.

Relevamiento de datos

Se realizó un relevamiento inicial de las cisternas a monitorear, geolocalización y determinación de niveles máximos de llenado: C1 Pantano Grande; C2 Pantano Chico; C3 Pantano Central y C4 El Galpón. Posteriormente, se verificó la infraestructura disponible: Red WiFi existente; *Hosting* (servidor) disponible; *Dashboard* (panel) operativo y el soporte técnico interno.
En relación al diseño del sistema, las transmisiones que forman la telemetría se envían a través de la Red LoRa. La Base Transceptora, al recibir estas transmisiones, retransmite los datos añadiendo el estado de carga de la batería local. La conexión con la etapa *Cloud Computing* (datos en la nube), se estableció mediante la red WIFI por MQTT (Message Queuing Telemetry Transport),que utiliza un modelo de publicación/suscripción, donde los dispositivos pueden publicar mensajes en tópicos y suscribirse a temas específicos para recibir los mensajes. La tecnología LoRa (Longe Range) permite la conectividad inalámbrica de largo alcance, facilitando la transmisión de datos a distancias significativas, es una tecnología de comunicación inalámbrica de bajo consumo que colabora en la gestión de datos mediante protocolos específicos.

En cada cisterna, se instaló un sensor de distancia ultrasónico y un sensor de temperatura en la cámara de aire. Los emisores se encuentran a 1 km de la Base Transmisora, sus transmisiones son autónomas y, en condiciones de funcionamiento óptimo tienen una frecuencia de 5 minutos; y envían la siguiente información: referencia institucional del sistema (ej.: UTHGRA); referencia del sub-sistema (ej.: AGUA); referencia del macro-componente monitoreado (ej.: C1); temperatura de la cámara de aire; distancia del sensor al nivel; estado de carga de batería del Emisor.

En particular, la fuente de alimentación de la base transmisora externa utiliza un panel fotovoltaico, que prestará un servicio adecuado hasta en períodos de baja radiación solar (Figura 5). Durante el período de invierno, es posible sustituirlo por una fuente de corriente continua de 12V/1 A alimentada por red eléctrica de 220V (corriente alterna). Asimismo, se utilizó una batería LI-ion 18650, de litio con una vida útil larga (aproximadamente, 2 años) y capacidad para manejar corrientes relativamente altas.

Figura 5. Fuente de alimentación de la base transmisora externa. Fuente: elaboración propia.

Respecto al hardware controlador de recepción y comunicación, la base Transceptora se configuró en base de una Red Local LoRaWan, para establecer conectividad vía WiFi con la etapa de "*Cloud Computing*" (Figura 6), y se utilizó una entrada en configuración analógica, monitoreando el estado de alimentación de la fuente interna

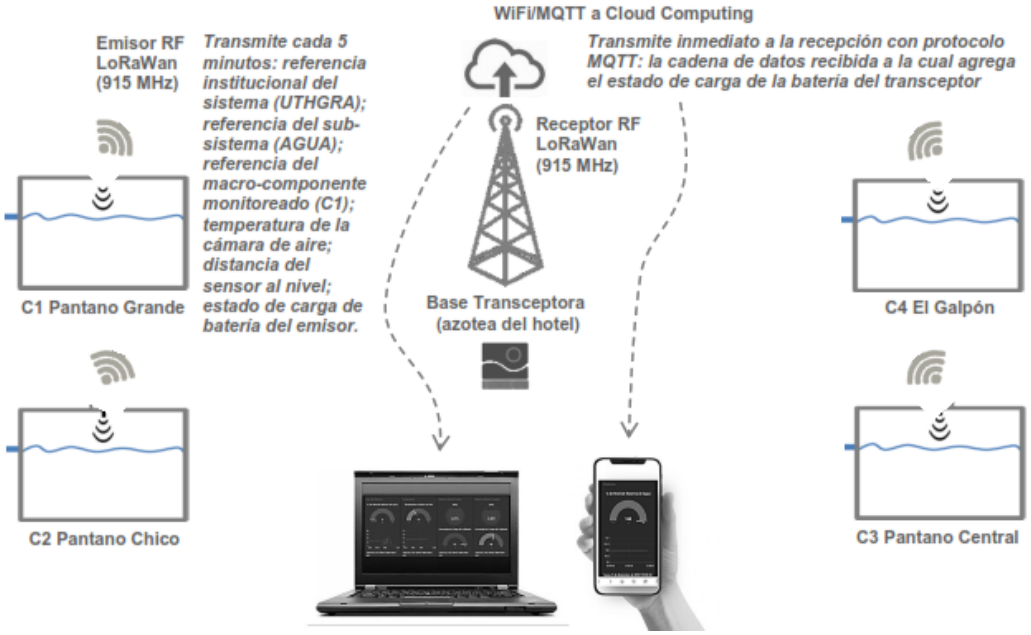


Figura 6. Esquema de configuración de la red LoRaWan y conectividad Cloud Computing. Fuente: INTI (2024).

RESULTADOS

Implementación del sistema de generación y gestión de reserva de agua

Para la gestión de reserva de agua se cuenta con datos transmitidos en cadena, que se almacenan en una base específica en el servidor de *Hosting*. Y es posible acceder a una base de datos a través de un tablero digital- Node RED, permitiendo un monitoreo efectivo del sistema de generación y de reservas de agua.

En el esquema (Figura 7), muestran el porcentaje de llenado de las cisternas monitoreadas, así como la fecha y hora de la última actualización. En condiciones óptimas de operación cada tablero se actualiza de forma independiente cada 5 minutos.

Figura 7. Tablero digital del estado del sistema-UTHGRA. Fuente: INTI (2024).

Los datos específicos de cada cisterna, incluyen indicaciones sobre la evolución temporal del nivel, la temperatura en la cámara de aire, y el estado de carga de las baterías tanto del emisor como de la base transceptora. Estas indicaciones, presentadas en diversas combinaciones para su análisis, proporcionan información valiosa tanto para la gestión de las reservas de agua como para el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de todo el sistema de telemetría.

Evaluación del caso testigo

Durante enero y febrero de 2025, siguiendo el tablero de control, se advirtió un incremento inusual en el consumo de agua. A simple vista, podía atribuirse a la alta ocupación de la temporada, pero al comparar los datos por pasajero alojado, surgió una alerta clara de desproporción. Al no encontrar fugas, se tomó una decisión estratégica, cambiar la fuente de abastecimiento, pasando temporalmente de la cisterna principal a la de riego. El consumo bajó de inmediato, confirmando que había una pérdida oculta en la cisterna principal. Como se puede observar en la curva de consumo (Figura 8), durante los diez días previos al cambio de cisterna, el consumo diario de agua osciló entre 30 y más de 80 m³, con un promedio de 57,2 m³ por día.

Tras la intervención del 23 de febrero, el consumo se estabilizó en un promedio de 13,2 m³ diarios. Lo cual no sólo representó una reducción del consumo de agua potable de un 77%, sino más de 1.300 m³ de agua ahorrados en apenas 30 días y menos presión en nuestras fuentes de agua y energía.

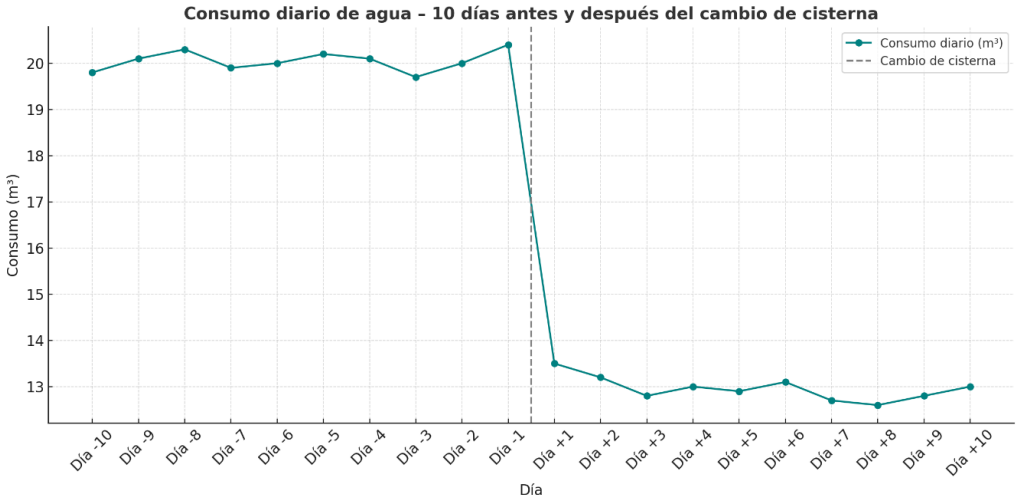


Figura 8. Curva de consumo diario de agua de la cisterna principal. Fuente: elaboración propia.

La implementación de este tipo de sistema de monitoreo no sólo brindó información fundamental para la toma de decisiones, sino que, a partir de la acción concreta, se realizaron medidas correctivas y de mejora continua.

Logros en eficiencia energética

En materia de eficiencia energética, el hotel logró una reducción del 40 % en el consumo eléctrico en un período de cinco años, mediante la sustitución de luminarias tradicionales por tecnología LED, procedimientos de ahorro de energía, la implementación de una política de control térmico de los sistemas de climatización y el monitoreo del consumo eléctrico (Figura 9). Una de las acciones más destacadas fue la instalación de más de 30 termotanques solares y paneles fotovoltaicos, que permiten abastecer parte del sistema de agua caliente sanitaria, la climatización de la piscina y la iluminación exterior.

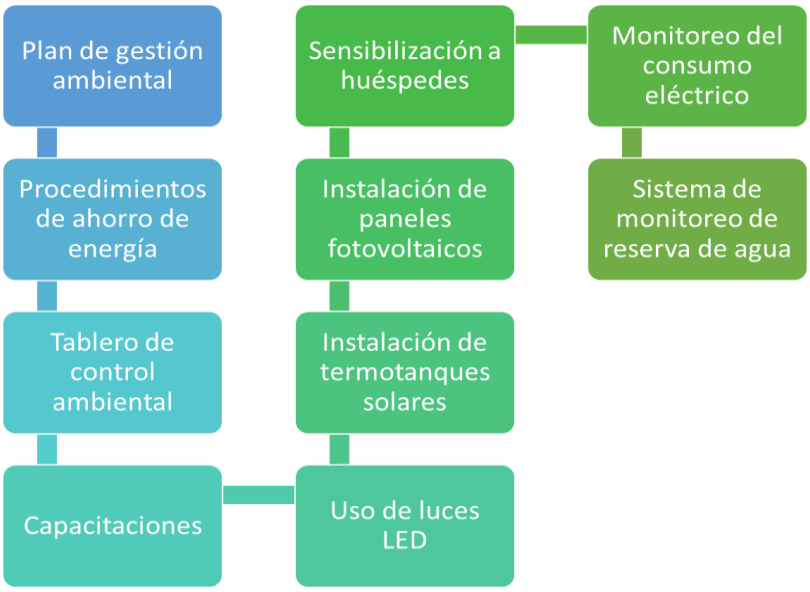


Figura 9. Camino de la eficiencia energética. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se instaló un sistema de plantas de tratamiento de agua y sistemas de filtrado que permiten recuperar el agua de lluvia, el agua de descarte de las plantas de ósmosis inversa, el agua del último ciclo de enjuague de la lavandería, el agua de purga de los termotanques solares y el agua de condensación de los aires acondicionados, así como la limpieza de la piscina a través de un robot.

Por otro lado, a partir del diagnóstico y análisis detallado para establecer una línea de base de consumo de recursos y generación de residuos, se implementó el plan “25-25,25-25”, con un primer período de 2012 a 2016 y, un segundo tramo desde 2016 a 2020. Los resultados alcanzados a 2020 fueron: un 56% de reducción en el consumo de agua, 39% en emisiones de CO_2, un 28% de reducción en energía eléctrica y un 80% en generación de residuos.

Particularmente, en el desarrollo del tablero de indicadores no sólo se contemplaron indicadores ambientales, sino que, al relacionarlos con la cantidad de pasajeros por noche, se generaron indicadores comparables a la operación real del hotel.

En este sentido, esta información brindó una perspectiva más precisa sobre la eficiencia en el uso de recursos y permite evaluar tendencias de consumo, detección de problemas o acciones de mejora continua. Respecto al consumo de agua, durante 2025, se puede observar una tendencia decreciente. De 2017 m³ en enero, a 440 m³ en agosto (Figura 10) a partir de la reparación de la cisterna aún con ocupación relativamente alta.

2025

Tablero de Control Hotel UTHGRA Los Cocos

Consumos	Agua m3	Gas Oil Litros	Gas Env (GLP) Litros	Gas Natural litros	Gas Oil vehículos Litros	E. Electrica Kw	Residuos Kilos	Vidrio kilo	Papel y cartón kilo	Plástico varios kilo	Pasajeros Totales	Empleados Totales
01/25	2017			15034	512	66940	1036	149	116	27	3989	3968
02/25	1322			10307	1017	58963	812	157	83	46	2655	3556
03/25	355			16263	594	42843	136	50	30	7	890	3906
04/25	560			16426	700	45323	489	60	20	25	1084	3720
05/25	569			8316	183	54641	296	148	34.15	57	1077	3510
06/25	573			15205	292	64874	554	186	80	35	932	3420
07/25	621			15955	610	69812	418	110	125	85	1386	3534
08/25	440				275		437	120	70	45		

Figura 10. Tablero de control Hotel UTHGRA Los Cocos [2]025. Fuente: elaboración propia

Si bien, en principio, se podría atribuir a la alta ocupación de la temporada, al compararse con los resultados de consumo de agua (m^3) por persona por día, en un período con información similar (Figura 11), surgió una alerta de desproporción ineludible.

	Febrero 2024	**Enero 2025**
Pasajeros totales	3973	3989
Empleados totales	3857	3968
Agua (m^3)	1487[1]	2017
m^3/Pers/dia	0,25	0,34

Figura 11. Comparación de consumo de agua por persona por día, Hotel UTHGRA Los Cocos. Fuente: elaboración propia.

En relación al consumo de energía eléctrica, los valores oscilan en 42842 kWh en marzo a 69812 kWh en julio del mismo año, coincidiendo con períodos de menor a mayor ocupación. Claramente, el consumo de agua, energía e, incluso, la generación de residuos sigue el mismo patrón de la estacionalidad turística.

Por último, los indicadores por persona y día, de carácter mensual y anual, son un instrumento estratégico para la gestión sostenible de organizaciones turísticas y hoteleras (Figura 12). Asimismo, posibilitan la formulación de metas de reducciones específicas y verificables, orientadas a optimizar el uso de los recursos naturales, disminuir la generación de residuos y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. El análisis de indicadores no sólo se vincula a las condiciones operativas internas de la organización, sino que también responde al contexto climático, ya sea por olas de calor e, incluso, incendios a inviernos particularmente rigurosos. En ese sentido, la interpretación de los indicadores ambientales requiere integrar variables técnicas, operativas y climáticas.

	2020	2021	2022	2023	2024
Agua m^3/pers/día	0,19	0,22	0,21	0,24	0,29
Emisión de CO_2 Kg/pers/día	7,64	11,29	4,79	0,13	0,17
E. Eléctrica kW/pers/día	11,57	13,77	10,20	10,22	15,17
Residuos Kg/pers/día	0,10	0,17	0,11	0,12	0,15

Figura 12. Indicadores ambientales UTHGRA Los Cocos, por persona por día, período 2020-2024. Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

En el contexto actual resulta imprescindible adoptar medidas que reflejen el compromiso social y ambiental, el hotel UTHGRA *Los Cocos* implementa estrategias innovadoras que promuevan un entorno de trabajo sostenible y la conservación de los ecosistemas. En tal sentido, el sistema de reservas hídricas pasa a ser fundamental para que el hotel continúe en actividad, contemplando ejes de sostenibilidad social, económica y ambiental en todos sus procesos. El sistema de monitoreo del estado de las reservas, no sólo tiene una fuente de energía renovable sino además es un ejemplo en el bajo consumo energético en tiempo real, dado que permite evaluar datos desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Este enfoque tecnológico, confirma el valor de un monitoreo ambiental riguroso, en tiempo real, mejora la eficiencia energética e hídrica, y además refuerza el compromiso del hotel con la sostenibilidad en el sector turístico nacional.

Proyección a Futuro

A partir del sistema de reservas hídricas y a medida que los datos diarios se acumulan en la nube, el Hotel UTHGRA *Los Cocos* será capaz de analizar patrones de consumo y anticiparse a las necesidades de agua según la demanda asegurando un uso responsable en una región donde el agua es un recurso limitado. Asimismo, se observa la oportunidad de aplicar "telemetría de refrigeración", es decir, la experiencia adquirida y parte de la misma tecnología (sensores, nodos, transmisión de datos) en un nuevo sistema de monitoreo continuo de las heladeras. Este sistema se podría adecuar a las heladeras utilizadas en el área de cocina, depósitos de alimentos y bebidas y permitiría conocer desvíos críticos, evitar pérdidas de alimentos por fallas de refrigeración, reducir el riesgo sanitario y generar alertas tempranas, en caso de desviaciones de temperatura.

REFERENCIAS

Álamos, N., Monsalve, T., Billi, M., Lefort, I., Allendes, A., Navea, J., Calvo, R., & Urquiza, A. (2021). Vulnerabilidad hídrica territorial (Documento de trabajo NEST`-r3 N°3). Santiago, Chile. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/AGJ6P

Denoya, G., et al (2023). Efecto de la desinfección con agua electroactivada sobre la calidad de tomates. Investigación Joven, 10(2), 90.

FAO. (2014). The water-energy-food nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/86fe97cc-4a38-4511-a37f-8eb8ea8fe941/content

García-Martín, L. (2022). La Agenda 2030 y el desarrollo sostenible: reflexiones en torno a su naturaleza jurídica y aplicación en el derecho internacional por parte de los Estados y las empresas. Iberoamerican Journal of Development Studies 11(2):126-142.

Gudynas, E. (2015). Derechos de la naturaleza: Ética biocéntrica y políticas ambientales. Editorial Abya-Yala.

INTI. (2024). Informe de asistencia técnica para la sensorización digital y telemetría inaugural del estado dinámico de reserva de agua corriente en las cisternas, Hotel UTHGRA Los Cocos [Informe no publicado].

Kuzma, S. et al (16 de agosto de 2023). Acueducto 4.0: Indicadores globales de riesgo hídrico relevantes para la toma de decisiones actualizados. WRI.https://www.wri.org/research/aqueduct-40-updated-decision-relevant-global-water-risk-indicators?auHash=74cRjEQPsH0NDpgT1NqIfNpqV-QpYNR4oiPo1HRhpGs

López, E., Pintos, G., Corral, M., & Rodríguez, A. (2021). Vulnerabilidad hídrica del Gran Córdoba ante escenarios de sequías y análisis de alternativas para la provisión de agua. Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 8(1), 31-39. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Macías García, L.D.; Pita Cantos, L.J. (2024). Optimización energética en planta de tratamiento de agua potable de Manabí. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades. Volumen V, Número 5 p 169.

Naranjo, L., & Willaarts, B. A.(2020). Guía metodológica: Diseño de acciones con enfoque del nexo entre agua, energía y alimentación para países de América Latina y el Caribe (Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 197, LC/TS.2020/117). Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Pengue,W. (2023). Economía ecológica, recursos naturales y sistemas alimentarios: ¿Quién se come a quién? Walter Alberto Pengue. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Orientación Gráfica Editora

Von Bertalanffy, L. (1986). El significado de la teoría general de los sistemas. (Cap. 2) (pp.30-53). En Teoría General de los Sistemas, Fondo de Cultura Económica.

EFFICIENT MANAGEMENT OF WATER RESERVES IN UTHGRA LOS COCOS HOTELS (CORDOBA- ARGENTINA) USING SOLAR-POWERED ELECTRONIC DEVICES

ABSTRACT: The UTHGRA Los Cocos Hotel, in Córdoba, Argentina, is located in a water vulnerable area, nestled between rivers with irregular flows and dependent on drilling and seasonal rainfall. This situation is compounded by recurring forest fires due to drought and human-caused events. In this context, the hotel has implemented various environmental management projects since 2012 to reduce water consumption and improve sustainability. Since 2023, in collaboration with the Institute of Industrial Technology, it has been developing solar-powered electronic devices that measure cistern levels and temperatures, sending real-time data to optimize water reserve control. This article analyzes the region's water situation using a case study, describes the project, and presents results and future actions in efficiency and environmental management.

Keywords: efficiency, water, energy, electronic devices.

ASADES

Acta de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente
Vol. 12, pp 182-193 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR LOS USUARIOS DE BAJA TENSIÓN

Adrián D´Andrea[1], Walter Giménez[1], Carlos G. Pacheco[1], Ciro T. Ruffinatto[1]
[1]Dpto. de Ingeniería en Energía Eléctrica, UTN Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe
Lavaise 610 Santa Fe Cp 3000 - Santa Fe Tel 4601579 – e-mail: afadandrea@gmail.com

RESUMEN: La calidad de la energía eléctrica es clave para el funcionamiento de los equipos y la eficiencia de las instalaciones. Este trabajo analiza cómo los usuarios de baja tensión influyen en la calidad del suministro, especialmente la distorsión armónica de corriente THD**.** Se realizaron mediciones semanales con un analizador de red en distintos suministros del departamento la capital de la provincia de Santa Fe, donde se detectaron distorsiones generadas por cargas no lineales, y variaciones de tensión fuera del rango normativo. El avance tecnológico y el aumento de cargas electrónicas no lineales representan un nuevo desafío, ya que incrementan las perturbaciones en la red y comprometen la calidad del suministro.

Palabras claves: eficiencia, distorsión armónica, cargas no lineales, calidad de energía.

INTRODUCCIÓN

La calidad de la energía eléctrica es clave para el funcionamiento eficiente de los sistemas eléctricos. En Santa Fe, el aumento de la demanda por parte de usuarios de baja tensión (residenciales, del sector terciario e industriales) plantea nuevos desafíos en cuanto al control del cumplimiento de las normativas sobre calidad de energía.

Este informe analiza cómo estos usuarios afectan parámetros como tensión, corriente, factor de potencia y armónicos, con foco en el impacto de cargas no lineales

Se evaluó la calidad de la energía eléctrica en usuarios del departamento la capital de la provincia de Santa Fe, con especial enfoque en los efectos que los usuarios de baja tensión tienen sobre la misma, a través del análisis de parámetros claves como la tensión, corriente, factor de potencia y armónicos. Este trabajo analiza instalaciones eléctricas de usuarios mediante campañas de medición en distintos entornos con cargas variadas. La metodología empleada fue la realización de medición y registro de parámetros eléctricos de una semana en viviendas residenciales, industrias (con equipamiento trifásico y cargas no lineales) e instituciones educativas (con equipamiento informático). Esto permitió visualizar el comportamiento eléctrico típico para los distintos tipos de usuarios tanto en días laborables como en fines de semana.

MARCO TEÓRICO

Conceptos De Calidad De La Energía

Armónicos: Frecuencias múltiplos de la fundamental (50 Hz) que distorsionan la onda senoidal.

THD de tensión: Porcentaje que mide la distorsión de la onda de tensión respecto a su forma ideal, debido a armónicos.

THD de corriente: Porcentaje de distorsión en la corriente causada por armónicos.

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Normativas De Referencia

ENRE 14/93 (Argentina):

- Márgenes de Tensión: La norma establece que el nivel de tensión debe mantenerse dentro de un rango de ±8% del valor nominal, que es comúnmente 220V en Argentina.
    - Máximo permitido: 237.6V
    - Mínimo permitido: 202.4V
- Define los límites de emisión de corrientes armónicas para equipos conectados a redes de baja tensión, especialmente relevante para cargas no lineales.
- Límite común para distorsión de corriente armónica:
    - Corriente: ≤ 20%
    - Tensión: ≤ 8%

IEC 61000-4-7:

- Proporciona la metodología para la medición y análisis de armónicos, asegurando que las mediciones sean precisas y estandarizadas.

METODOLOGÍA

Equipo de medición

Tabla 1: parámetros y descripción del equipo de medición

Parámetro	Descripción
Marca	HT
Modelo	9030
Tipo de red	Trifásica y monofásica
Clase	1

Formas de medición y lapsos de tiempo

Para el desarrollo de este trabajo, se realizaron mediciones en instalaciones de usuarios de baja tensión para analizar parámetros eléctricos relevantes que inciden en la calidad del suministro. Las variables medidas fueron:

- Tensión
- Corriente
- Contenido armónico
- THD de tensión y corriente

Cada medición se realizó de manera continua durante una semana completa, lo que permitió registrar el comportamiento eléctrico en días y horarios, incluyendo fines de semana y horarios pico.

El equipo de medición utilizado realizó un registro automático cada 5 minutos, generando para cada intervalo los valores mínimo, medio y máximo de las variables analizadas.

Para el procesamiento y análisis de resultados se trabajó principalmente con los valores medios de cada intervalo, por considerarse los más representativos del comportamiento eléctrico general del sistema bajo estudio.

Lugares de medición

Figura 1: Mapa de los lugares de medición

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediciones residenciales

Ubicación: Cardenal Fasolino 28, Santa Fe Capital, Santa Fe, Argentina. Fechas de medición: del 14/02/2025 a las 7:28:00 hasta el 20/02/2025 a las 17:18:00. Alimentación: trifásica. Zona de medición: Tablero general residencial.

Gráficas fase R.

Tensión:

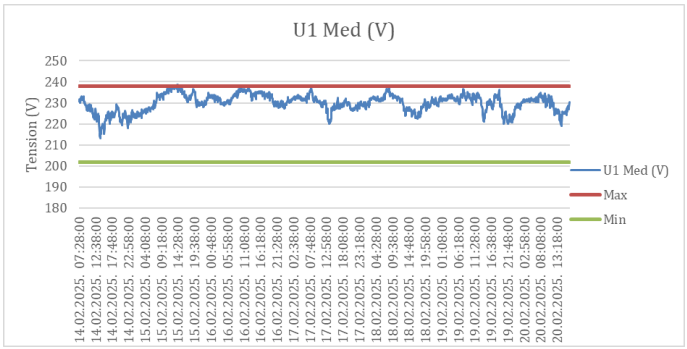


Figura 2: Gráfica de tensión (V) en función del tiempo de la fase R con su límite máximo y mínimo

Corriente:

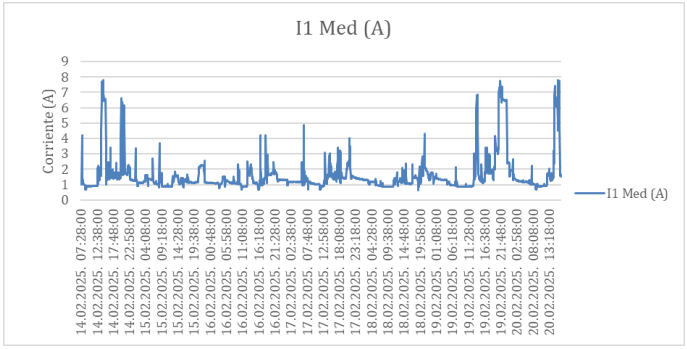


Figura 3: Gráfica de corriente (A) en función del tiempo de la fase R

THD tensión:

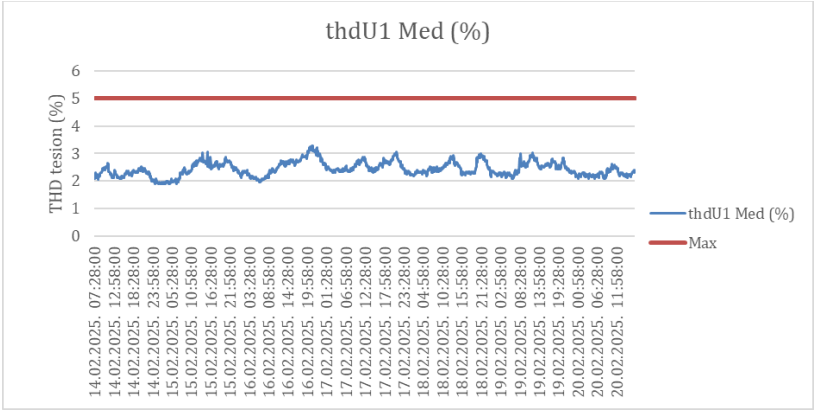


Figura 4: Gráfica de THD de tensión (%) en función del tiempo en la fase R con su límite máximo

THD corriente:

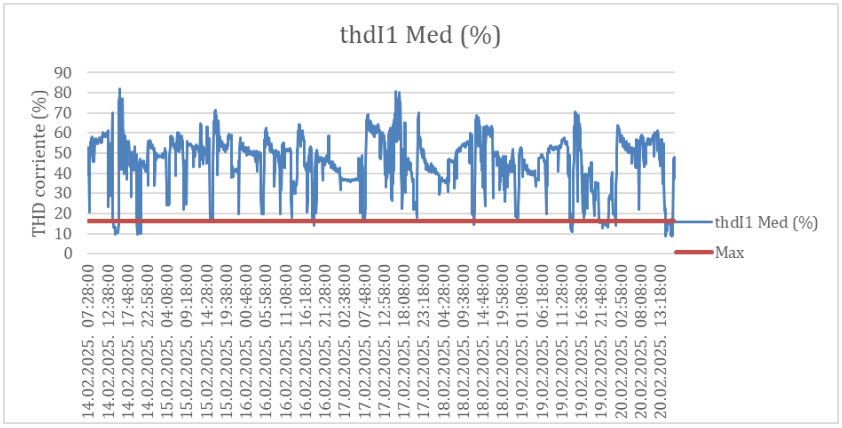


Figura 5: Gráfica de THD de corriente (%) en función del tiempo en la fase R con su límite máximo

Tabla 2: Resumen de las mediciones en la fase R

Medición	Valores máximos permitidos	Valores promedios obtenidos
U (V)	237,6	229,90
I (A)	-	1,60
THD tensión (%)	5%	2,44
THD corriente (%)	16%	45,65

Gráficas fase S.

Tensión:

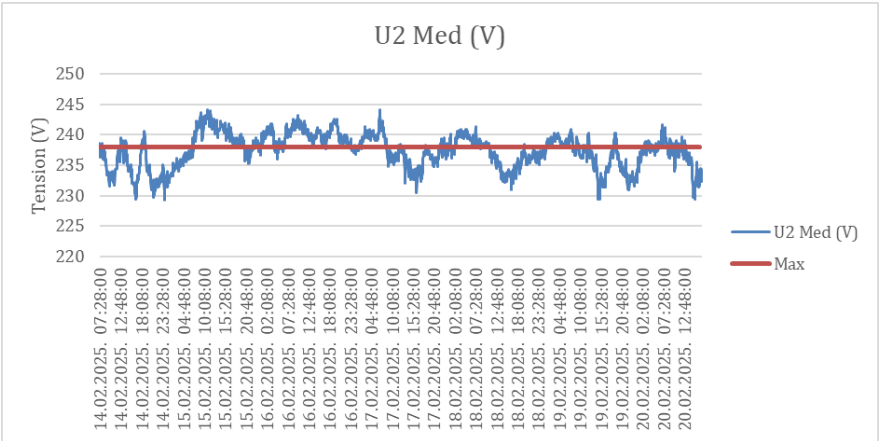


Figura 6: Gráfica de tensión (V) en función del tiempo de la fase S con su límite máximo

Corriente:

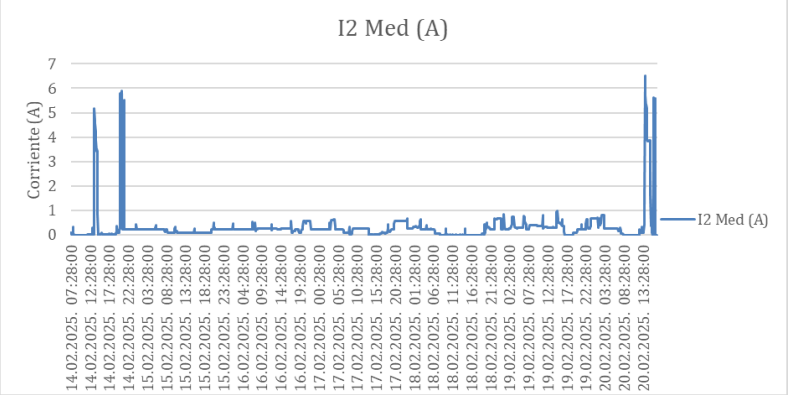


Figura 7: Gráfica de corriente (A) en función del tiempo de la fase S

THD tensión:

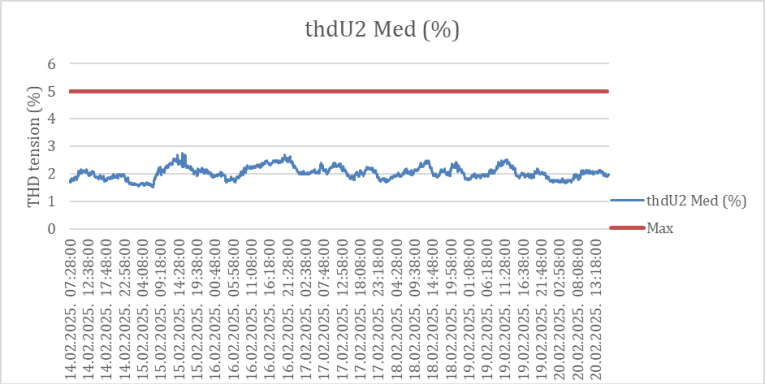


Figura 8: Gráfica de THD de tensión (%) en función del tiempo en la fase S con su límite máximo

THD corriente:

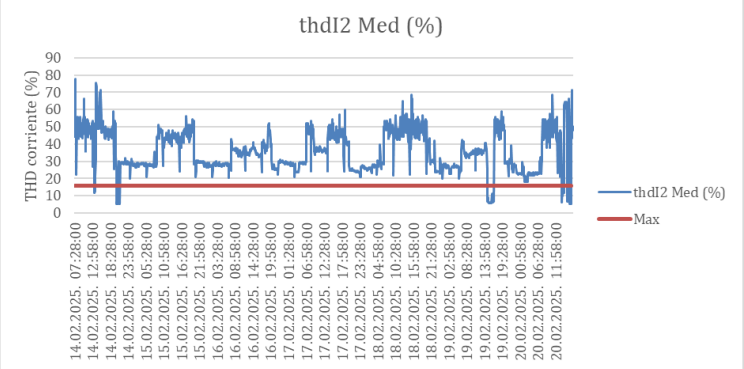


Figura 9: Gráfica de THD corriente (%) en función del tiempo de la fase S con su límite máximo

Tabla 3: Resumen de las mediciones en la fase S

Medición	Valores máximos permitidos	Valores promedios obtenidos
U (V)	237,6	237,32
I (A)	-	0,33
THD tensión (%)	5%	2,05
THD corriente (%)	16%	35,62

Gráficas fase T.

Tensión:

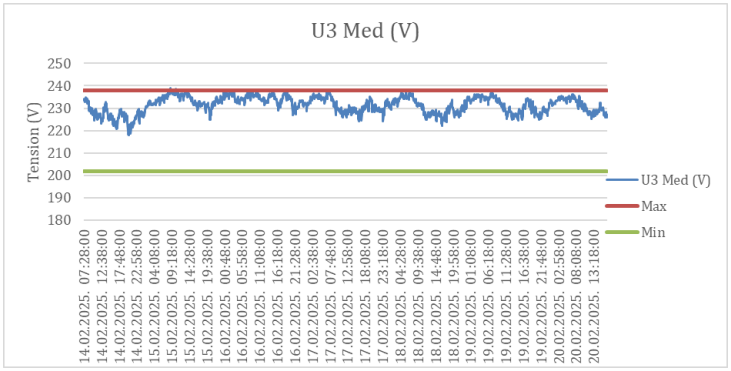


Figura 10: Gráfica de tensión (V) en función del tiempo de la fase T con su límite máximo y mínimo

Corriente:

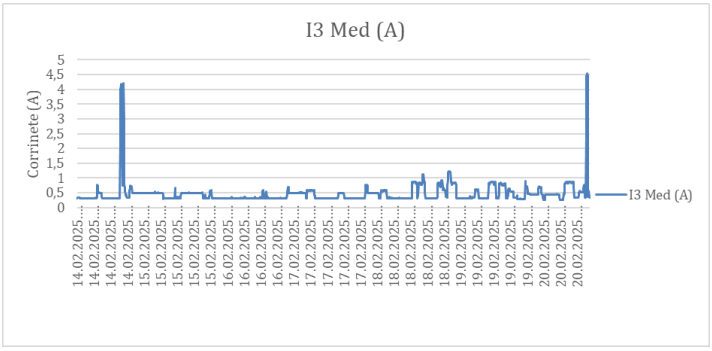


Figura 11: Gráfica de corriente (A) en función del tiempo de la fase T

THD tensión:

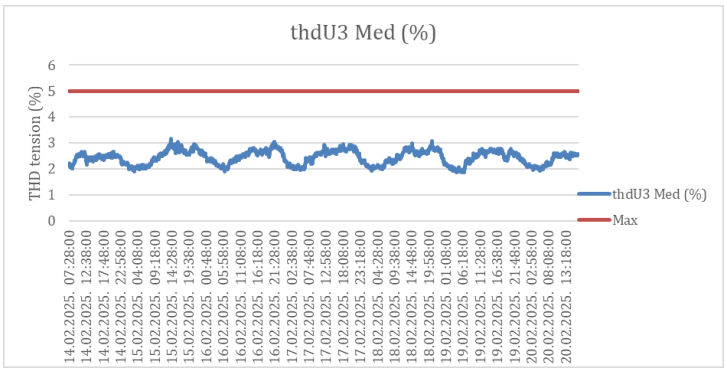


Figura 12: Gráfica de THD de tensión (%) en función del tiempo en la fase T con su límite máximo

THD corriente:

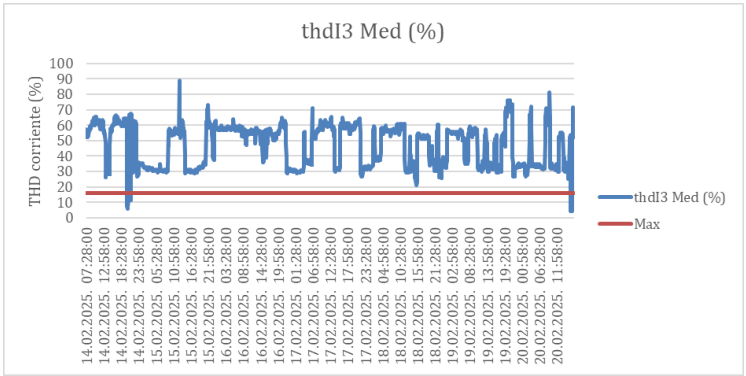


Figura 13. Gráfica de THD corriente (%) en función del tiempo de la fase T con su límite máximo

Tabla 4: Resumen de las mediciones en la fase T

Medición	Valores máximos permitidos	Valores promedio obtenidos
U (V)	237,6	231,43
I (A)	-	0,47
THD tensión (%)	5%	2,45
THD corriente (%)	16%	46,58

Conclusión medición residencial

Se puede señalar que ciertos parámetros medidos, como el THD de tensión y las tensiones en las fases R y T, se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa. Sin embargo, se observó que en la fase S en gran parte de la medición, la tensión supera el límite permitido.

Por otro lado, el THD de corriente presenta un comportamiento variable: en niveles bajos de corriente, el THD supera ampliamente el límite máximo, evidenciando el impacto negativo de las cargas no lineales en la calidad del suministro. A medida que la corriente aumenta a valores medios o altos, el THD tiende a reducirse y acercarse a los límites normativos, incluso en algunos casos ubicándose por debajo de estos.

Medición industrial

Ubicación: Colectora Sur parque industrial Sauce Viejo, Sauce Viejo, Santa Fe, Argentina. Fechas de medición: del 16/04/2025 a las 15:23:00 hasta el 23/04/2025 a las 15:13:00. Alimentación: trifásica. Zona de medición: Tablero general de la empresa. Fase R.

Tensión:

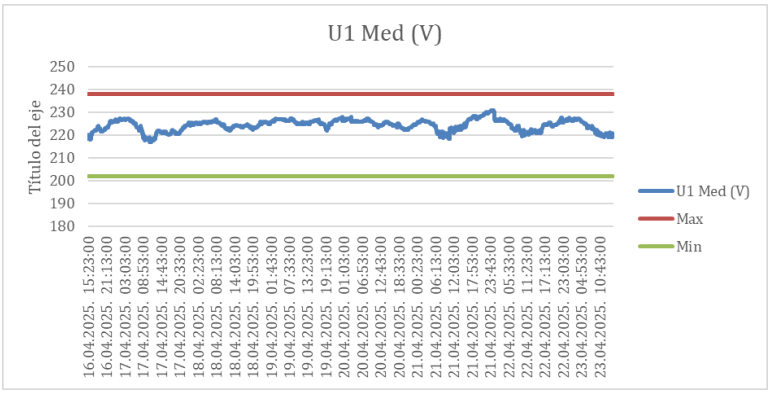


Figura 14: Gráfica de tensión (V) en función del tiempo de la fase R con su límite máximo y mínimo

Corriente:

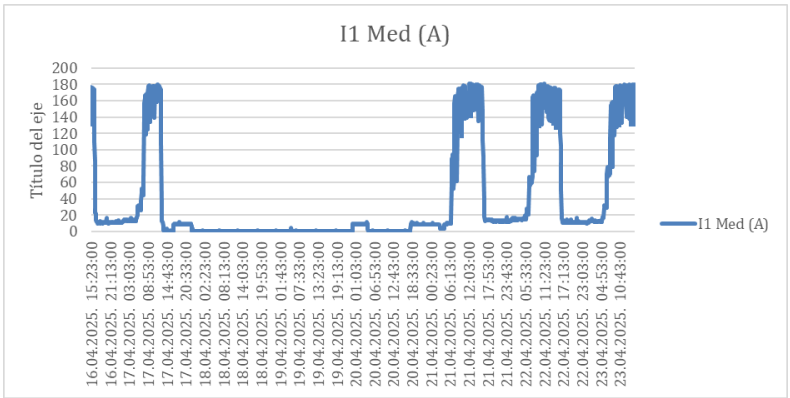


Figura 15: Gráfica de corriente (A) en función del tiempo de la fase R

THD tensión:

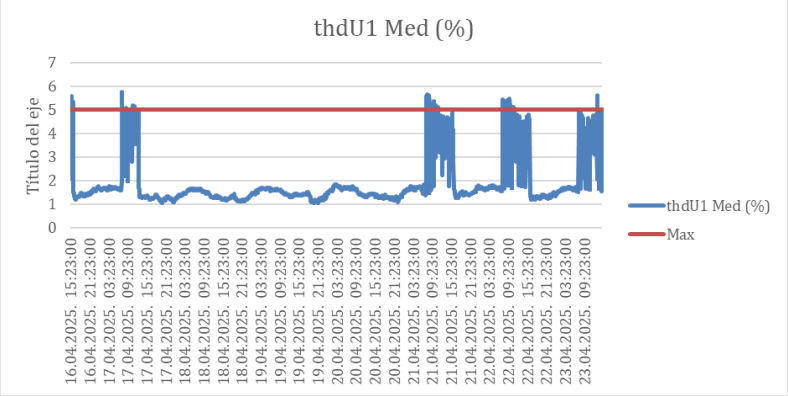


Figura 16: Gráfica de THD de tensión (%) en función del tiempo en la fase R con su límite máximo

THD corriente:

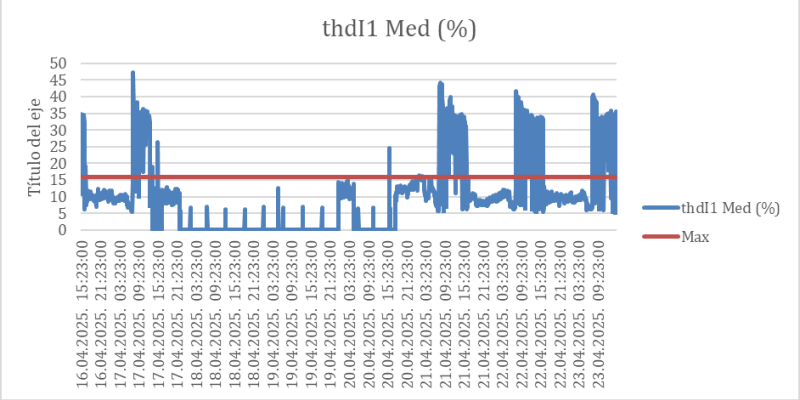


Figura 17: Grafica de THD corriente (%) en función del tiempo de la fase R con su límite máximo

Tabla 5: Resumen de las mediciones en la fase R

Medición	Valores máximos permitidos	Valores promedio obtenidos
U (V)	237,6	224,31
I (A)	-	37,62
THD tensión (%)	5%	1,99
THD corriente (%)	16%	10,23

Fase S:

Tensión:

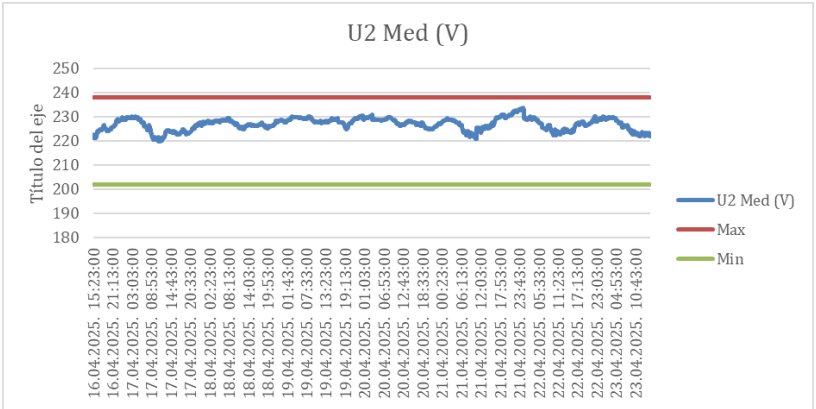


Figura 18: Gráfica de tensión (V) en función del tiempo de la fase S con su límite máximo y mínimo

Corriente:

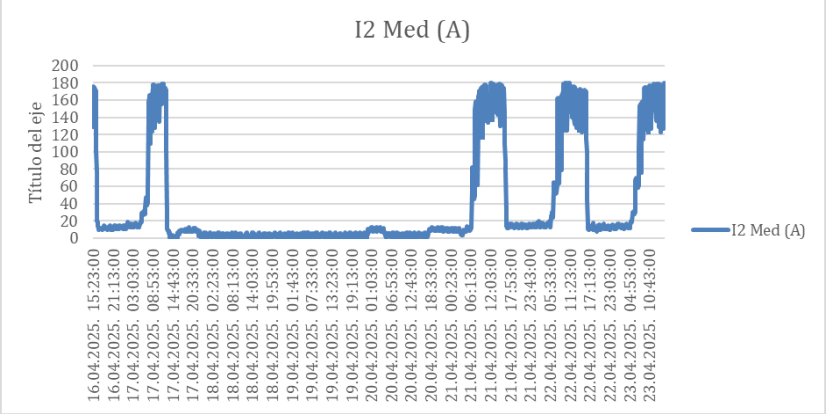


Figura 19: Gráfica de corriente (A) en función del tiempo de la fase S

THD tensión:

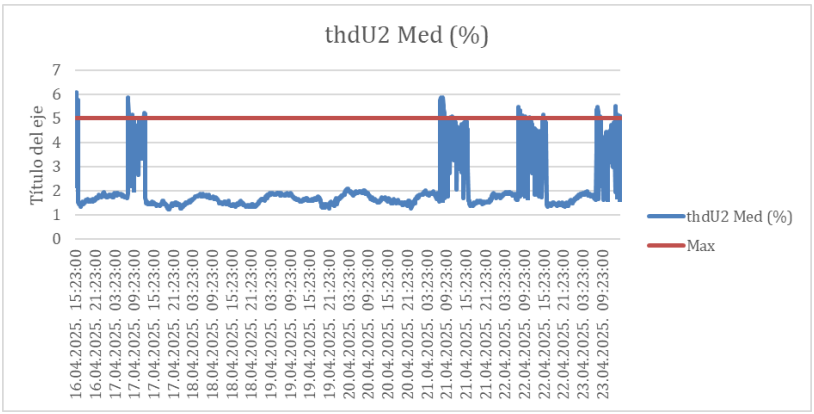


Figura 20: Gráfica de THD de tensión (%) en función del tiempo en la fase S con su límite máximo

THD corriente:

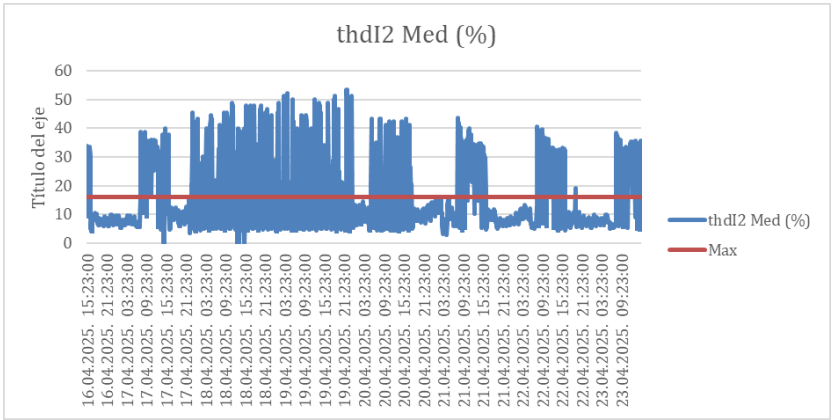


Figura 21: Gráfica de THD corriente (%) en función del tiempo de la fase S con su límite máximo

Tabla 6: Resumen de las mediciones en la fase S

Medición	Valores máximos permitidos	Valores promedio obtenidos
U (V)	237,6	226,94
I (A)	-	38,42
THD tensión (%)	5%	2,15
THD corriente (%)	16%	15,59

Fase T

Tensión:

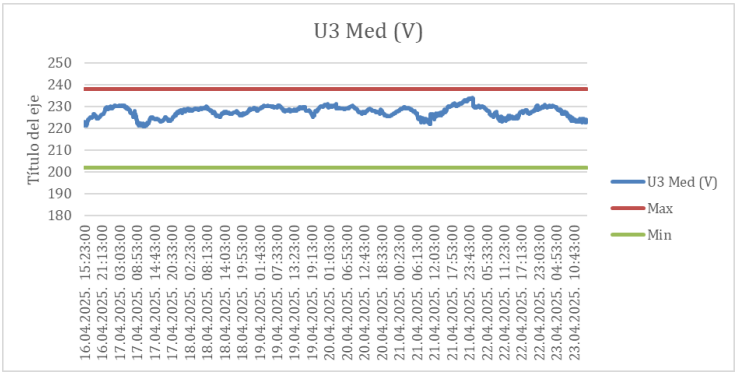


Figura 22: Gráfica de tensión (V) en función del tiempo de la fase T con su límite máximo y mínimo

Corriente:

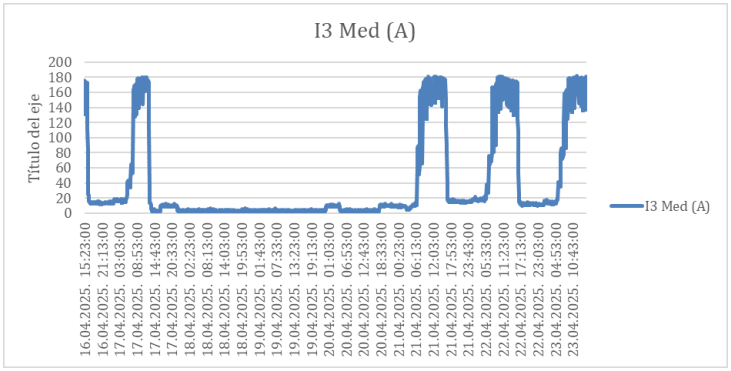


Figura 23: Gráfica de corriente (A) en función del tiempo de la fase T

THD tensión:

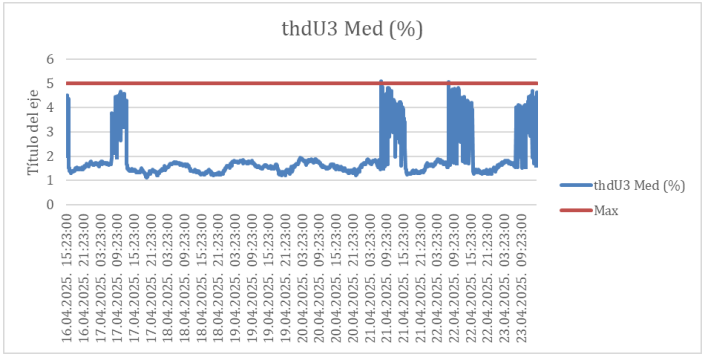


Figura 24: Gráfica de THD de tensión (%) en función del tiempo en la fase T con su límite máximo

THD corriente:

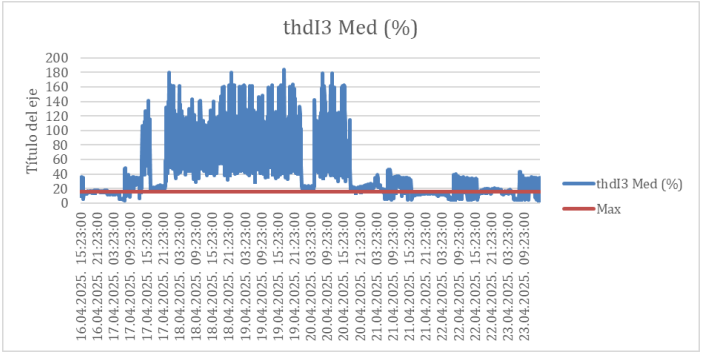


Figura 25: Gráfica de THD corriente (%) en función del tiempo de la fase T con su límite máximo

Tabla 7: Resumen de las mediciones en la fase T

Medición	Valores máximos permitidos	Valores promedio obtenidos
U (V)	237,6	227,52
I (A)	-	39,96
THD tensión (%)	5%	1,98
THD corriente (%)	16%	44,94

Conclusión de la medición industrial

Durante todo el periodo de medición las 3 fases en ningún momento se encontraron fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. En altos niveles de corriente los armónicos de tensión superaban mínimamente o no superaban el límite establecido, mientras que los armónicos de corriente sí lo superaban. En los periodos de baja demanda, los armónicos de tensión no superaron los límites porcentuales, mientras que en 2 de las 3 fases los armónicos de corriente fueron altos y superaron los límites permitidos.

DISCUSIÓN Y SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS

Se evidenció que cargas no lineales, generan altos niveles de distorsión armónica de corriente (THD), incluso con baja demanda de potencia. En industrias y comercios, se observaron perturbaciones más intensas asociadas al uso de variadores o rectificadores.

Respecto a la tensión, en general se mantuvo dentro del rango normativo (±8 % según ENRE 14/93), aunque se detectaron algunas sobretensiones sostenidas. El THD de tensión permaneció mayormente por debajo del 5 %, con algunas excepciones en usuarios industriales.

También se comprobó que factores como la ubicación, la densidad de carga y el horario de consumo afectan el comportamiento eléctrico, sugiriendo la necesidad de estudios zonales. En conjunto, los resultados confirman que el uso creciente de tecnología no lineal, sin planificación ni filtrado, puede degradar la calidad del suministro, lo que refuerza la importancia de estrategias correctivas.

CONCLUSIONES

El análisis realizado a partir de mediciones en usuarios de baja tensión permitió identificar de forma clara la influencia que tienen las cargas conectadas sobre la calidad del suministro eléctrico. Se observó que, más allá del nivel de consumo, la naturaleza de las cargas es el factor determinante en la aparición de perturbaciones, especialmente en lo que respecta a distorsión armónica de corriente.

En múltiples instalaciones, incluso en condiciones de baja demanda, se registraron niveles elevados de THD de corriente, lo que evidencia que las cargas no lineales, presentes de forma permanente en los hogares e industrias modernas, generan efectos negativos sobre la red. Este fenómeno también puede contribuir, en algunos casos, a la distorsión de la tensión, especialmente cuando hay presencia simultánea de múltiples equipos distorsionantes.

A baja demanda, la presencia de una alta cantidad de cargas no lineales genera un elevado THD de corriente, debido a que los armónicos tienen un mayor peso relativo frente a la corriente total. Sin embargo, debido al bajo nivel de corriente en esos momentos, el impacto negativo que estas distorsiones pueden causar en la red y en los equipos es limitado. En contraste, cuando la demanda es mayor y el THD de corriente disminuye, aunque la distorsión relativa sea menor, el efecto sobre la calidad del suministro y el posible daño a los equipos es más significativo debido a que la corriente total es más alta, amplificando el impacto de los armónicos presentes.

Además, se detectaron variaciones de tensión fuera de los márgenes establecidos por la normativa. En conjunto, estos resultados demuestran que los usuarios de baja tensión no son solo receptores de energía, sino que también pueden actuar como fuentes de perturbación, afectando la calidad del suministro tanto

para sí mismos como para otros usuarios conectados a la misma red. Además, estos resultados evidencian la alta necesidad en la implementación de medidas para mitigar o reducir estos efectos contraproducentes, tanto como con filtros, concientización y monitoreo continuo.

REFERENCIAS

Gomez-Targarona, J. C. (2005). Calidad de potencia: para usuarios y empresas eléctricas (1ra ed.). Editorial Edigar S.A.

Industrias SICA S.A.I.C. & PIRELLI CABLES S.A.I.C. (2000). Manual de calidad de la energía (1ra ed.). Industrias SICA S.A.I.C. & PIRELLI CABLES S.A.I.C.

Suarez, J. A., Di Mauro, G. F., Anaut, D., & Agüero, C. (2005). Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales. IEEE Latin America Transactions, 3(5), 429-435.

PID UTN 1255 "Impacto energético y de calidad de energía por la incorporación masiva de lámparas fluorescentes compactas". UTN – FRSF. Santa Fe 2010

PID ENECFE0010169 "Influencia de los usuarios de baja tensión en la calidad de energía". UTN – FRSF. Santa Fe 2024 -2026

D'Andrea, A., & Pacheco, C. G. (2023). Mediciones de parámetros eléctricos de lámparas LED e impacto en la calidad de energía. En 1° Congreso Latinoamericano en Energías: Una mirada regional con impacto global. UTN - FRC, Córdoba.

D'Andrea, A. F., & Pacheco, C. G. (2025). Estudio de parámetros eléctricos de lámparas LED de uso comercial y su impacto en la calidad de energía. En Congreso CIA 2025. UTN – FRLR, La Rioja.

ALTERATION OF THE QUALITY OF ELECTRICAL POWER PRODUCED BY LOW VOLTAGE USERS

ABSTRACT: Electrical power quality is key to the operation of equipment and the efficiency of facilities. This study analyzes how low-voltage users influence power quality, especially harmonic current distortion (THD). Weekly measurements were taken with a network analyzer at various utilities in the department of Santa Fe, the capital city of the province, where distortions generated by nonlinear loads and voltage variations outside the regulatory range were detected. Technological advancements and the increase in nonlinear electronic loads represent a new challenge, as they increase grid disturbances and compromise power quality.

Keywords: efficiency, harmonic distortion, nonlinear loads, power quality

ASADES

Acta de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación
Argentina de Energías Renovables y Ambiente
Vol. 12, pp 194-203 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

MEJORAS Y DIGITALIZACIÓN DE UN RADIÓMETRO FOTOVOLTAICO DE BAJO COSTO

Agustín Marconi[1], Juan Plá[1,2], Mariela Videla[1],
Mariana Tamasi[1,2], Mónica Martínez Bogado[1,2], Martha Díaz Salazar[1,2], Analía Moreno[1,2]
[1]Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)
Av. General Paz 1499 (1650) San Martín, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. Tel. (011) 6772-7212,
e-mail: agustinmarconi@cnea.gob.ar, marielavidela@cnea.gob.ar
[2]Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (CONICET-CNEA)

RESUMEN: En el presente trabajo se detallan las mejoras incorporadas al radiómetro fotovoltaico fabricado por el Departamento Energía Solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica. En primer lugar, se rediseñó el sensor como una fuente de corriente, para luego conectarlo a un circuito acondicionador externo que transforma la señal a un rango de tensión estandarizado. Luego se implementó un sistema de adquisición basado en un microcontrolador, que mide la tensión, la procesa y almacena temporalmente. Este sistema realiza mediciones promediadas por minuto, y transmite los datos a través de una interfaz serie. Finalmente, se incorporó un módulo de comunicación Ethernet que permite integrar al instrumento con plataformas de monitoreo usadas en instalaciones de generación distribuida del tipo comercial o mediana escala mediante protocolos estandarizados en Modbus TCP/IP. Para la etapa analógica se verificó la linealidad del circuito y la respuesta angular del sensor. Se realizaron pruebas de transmisiones y conexiones exitosas y se espera incorporar el dispositivo en la plataforma de monitoreo utilizada en las instalaciones del Departamento.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica, radiación solar, radiómetro fotovoltaico, adquisición y transmisión de datos.

INTRODUCCIÓN

La medición precisa de la radiación solar es un requisito fundamental en diversas áreas como el diseño y seguimiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, la planificación energética, la meteorología, y el estudio de impactos ambientales. En particular, el conocimiento detallado de la irradiancia global y su variabilidad temporal resulta indispensable para estimar la energía eléctrica generada por instalaciones solares fotovoltaicas y optimizar su operación.

Tradicionalmente, los instrumentos empleados para estas tareas son los radiómetros basados en pilas termoeléctricas o sensores fotovoltaicos estandarizados. Mientras que los primeros presentan una respuesta espectral relativamente plana y una elevada precisión, implican un costo considerable que limita su aplicación en proyectos de escala relativamente menor. Por otra parte, los sensores fotovoltaicos constituyen una alternativa ampliamente utilizada debido a su bajo costo, robustez mecánica y facilidad de fabricación, aunque presentan ciertas limitaciones inherentes a su principio de operación, principalmente relacionadas con su respuesta espectral no uniforme y su dependencia angular (Bolzi et al., 2013; Durán et al., 1998).

En la Argentina, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) a través del Departamento Energía Solar (DES), ha desarrollado desde el año 1998 sensores solares de silicio cristalino y piranómetros fotovoltaicos (Figura 1) adaptados a requerimientos locales, para ser utilizados tanto en aplicaciones

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

terrestres como satelitales (Bolzi et al., 2013). Estos desarrollos han permitido avanzar en tecnologías nacionales orientadas a sistemas de medición confiables y de bajo costo.

Figura 1. Piranómetro fotovoltaico desarrollado por el DES.

Desde el punto de vista físico, los sensores fotovoltaicos basados en silicio cristalino se comportan como fuentes de corriente cuya magnitud depende directamente de la irradiancia incidente sobre su superficie, especialmente cuando operan en condiciones cercanas al cortocircuito, donde la relación irradiancia-corriente es prácticamente lineal (Green, 1986). No obstante, el diseño convencional de estos radiómetros incluye frecuentemente una resistencia interna para transformar la señal en una tensión proporcional, facilitando su lectura con equipos estándar. Este método introduce inconvenientes que impactan en la calidad de la medición, especialmente cuando se requiere instalar el sensor a distancias apreciables del dispositivo de adquisición.

Por otro lado, en instalaciones fotovoltaicas de mediana y gran envergadura es habitual la utilización de sistemas centralizados de adquisición de datos (*dataloggers*), capaces de almacenar grandes volúmenes de información y comunicarse mediante protocolos industriales como Modbus TCP/IP. Sin embargo, estos equipos suelen representar un costo elevado a la vez que exceden las necesidades de prestaciones en instalaciones pequeñas o proyectos piloto, donde se busca priorizar la economía y modularidad.

En este contexto, el presente trabajo aborda el diseño y desarrollo de un sistema de medición fotovoltaico adaptado a los requisitos de instalaciones de pequeña y mediana escala. El proyecto comprende la resolución de tres problemáticas principales: (1) la reducción de las pérdidas eléctricas asociadas a la resistencia de los cables y la simplificación del encapsulado del sensor mediante un acondicionador de la señal externo, (2) el desarrollo de un sistema de adquisición basado en un microcontrolador que permita el almacenamiento local de los datos con identificación temporal conforme a las recomendaciones de normas internacionales (IEC, 2021), y (3) la implementación de un módulo de comunicación Ethernet que permita la integración del sistema en plataformas de monitoreo de instalaciones fotovoltaicas comerciales o de mediana escala a través del protocolo Modbus TCP/IP.

OBJETIVOS

Entre los objetivos establecidos, se encuentran los siguientes:

1. Mejorar la medición del sensor de irradiancia fotovoltaico
2. Almacenar las mediciones diarias realizadas
3. Tener comunicación compatible con base de datos para almacenamiento

En las siguientes secciones se analizarán los problemas asociados a estos objetivos, para luego proponer soluciones a los mismos y finalmente presentar el desarrollo de dichas soluciones.

DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS

Los radiómetros fotovoltaicos diseñados con resistencia interna incorporada presentan la ventaja de ofrecer una señal de salida en tensión directamente proporcional a la irradiancia, con valores acotados que permiten su medición mediante sistemas de adquisición de datos comerciales, sin necesidad de

etapas adicionales de acondicionamiento. No obstante, este tipo de configuración conlleva ciertas limitaciones inherentes. Principalmente, requiere realizar la medición cerca del sensor para minimizar la caída de tensión causada por la resistencia de los cables. Este efecto se vuelve más notable al aumentar la distancia, lo que puede afectar la calibración del dispositivo si se modifica la longitud del cable. Además, la inclusión de un componente resistivo adicional dentro del propio sensor incrementa la complejidad del dispositivo y eleva la probabilidad de fallas o desviaciones en su funcionamiento.

En instalaciones fotovoltaicas de mediana y gran escala, es habitual contar con sistemas de adquisición y gestión de datos estandarizados, capaces de adquirir las señales provenientes de diversos sensores, almacenarlas de manera estructurada y ponerlas a disposición para su consulta o extracción posterior. No obstante, dichos equipos suelen representar un costo elevado y, en muchos casos, ofrecen prestaciones que exceden los requerimientos técnicos de instalaciones de menor envergadura, resultando poco rentables para aplicaciones pequeñas o medianas.

En la mayoría de las instalaciones que incorporan sensores de radiación, resulta fundamental disponer de un volumen significativo de datos organizados, que permita su posterior procesamiento y análisis con fines de diagnóstico, control o investigación. Para ello, habitualmente se emplean centros de datos o servidores, físicos o virtuales, donde la información es almacenada de manera estructurada. Dichos centros suelen integrarse a través de conexiones de red por cable (Ethernet) y emplean protocolos estandarizados, como el Modbus TCP/IP, ampliamente utilizado en entornos industriales para la transferencia confiable de datos.

PROPUESTA DE SOLUCIONES

Considerando que el comportamiento eléctrico del sensor fotovoltaico puede modelarse, en primera aproximación, como una fuente de corriente cuyo valor varía en función de la irradiancia incidente, se propone desarrollar un radiómetro sin resistencia interna. De este modo, la señal de salida del sensor será una corriente proporcional a la irradiancia, lo cual posibilita diseñar un circuito de acondicionamiento externo que pueda ubicarse próximo al equipo de adquisición de datos. Esta disposición, que transporta información de la señal en corriente, evita los problemas ocasionados por las pérdidas de tensión en cables y permite instalar el sensor a distancias mayores sin comprometer la exactitud de la medición.

Asimismo, al prescindir de componentes adicionales en el encapsulado del sensor, se disminuye la probabilidad de fallas mecánicas o eléctricas del dispositivo debidas a las condiciones de temperatura, humedad, y ciclado térmico, concentrando en un módulo externo el acondicionamiento de la señal. Esto último simplifica el mantenimiento y reduce los costos operativos, dado que ante un eventual desperfecto, el circuito de acondicionamiento puede reemplazarse de manera modular sin intervenir directamente sobre el sensor.

A partir de la señal previamente acondicionada, con salida normalizada en un rango limitado de tensión, se propone implementar un sistema basado en un microprocesador que permite realizar la adquisición de datos, y el etiquetado y almacenamiento de las mediciones, quedando estas disponibles para su posterior consulta o exportación. El procesamiento realizado incluye una conversión de valores de tensión a irradiancia, que es posible a partir de la correcta configuración de la constante de calibración (valor intrínseco del sensor, obtenido tras su calibración). Para tal fin, se decidió emplear una placa de desarrollo equipada con el microcontrolador STM32F103C8T6, el cual dispone de los recursos necesarios para efectuar la lectura de señales analógicas, procesarlas y gestionarlas de forma eficiente.

Sobre la base de las soluciones desarrolladas para los problemas previos, que comprenden un circuito acondicionador de la señal del sensor y un microcontrolador responsable de la adquisición y almacenamiento de los datos, se plantea como siguiente etapa incorporar la interfaz de comunicación necesaria para el protocolo Modbus TCP/IP. Para lograrlo, se propone adicionar un módulo electrónico con capacidad de conexión Ethernet que establezca la comunicación física y lógica con la placa de desarrollo previamente implementada.

Este sistema permitirá que, mediante el cable de red y el microcontrolador programado para gestionar el protocolo, se atiendan las solicitudes provenientes del centro de datos. De este modo, las mediciones almacenadas serán transferidas de forma periódica o a demanda hacia la base de datos, garantizando la integridad de la información y su disponibilidad para posteriores análisis y estudios.

DESARROLLO DE SOLUCIONES

Para realizar el acondicionamiento de la señal, se implementó un circuito basado en un amplificador operacional configurado en modo inversor con realimentación, tal como se observa en la Figura 2. Este esquema permite fijar, mediante la selección adecuada de la resistencia de entrada conectada al sensor y la resistencia de realimentación, una ganancia de transimpedancia que establece el rango de tensión de salida deseado, compatible con los niveles de entrada del sistema de adquisición (por ejemplo, un rango de 0 a 5 V).

En este caso, la polarización del sensor está dada por la muy baja resistencia de entrada del amplificador elegido, lo cual garantiza su operación en condiciones cercanas a su corriente de cortocircuito. Esto asegura la linealidad entre la irradiancia y la señal obtenida. Por su parte, la resistencia de realimentación se dimensiona de forma tal que la ganancia total del circuito permite mantener la tensión de salida dentro del rango especificado, asegurando una correcta representación de la variable de interés sin saturación del amplificador.

Con este diseño se logra un sistema flexible, donde el sensor fotovoltaico se mantiene con un encapsulado simple y confiable, y el acondicionamiento de la señal se realiza externamente, adaptando el rango de tensión según las necesidades particulares del dispositivo de medición/adquisición utilizado.

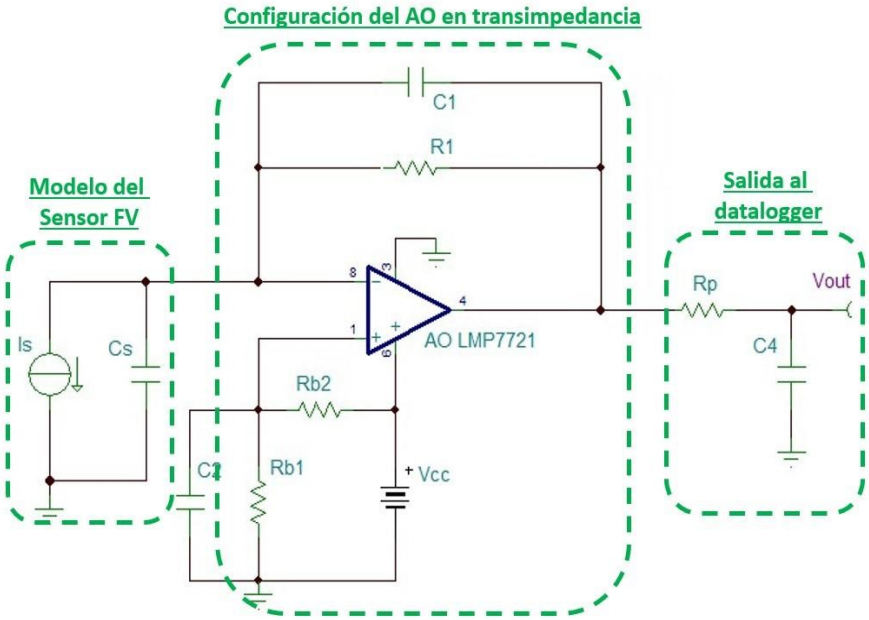


Figura 2. Diagrama esquemático del circuito propuesto.

La señal de tensión proveniente del circuito acondicionador es adecuada para ser aplicada a una de las entradas analógicas del conversor AD (Analógico/Digital) del microcontrolador. Se programó el sistema (Figura 3) para realizar adquisiciones cada segundo, las cuales son promediadas a fin de obtener un valor representativo por minuto, en cumplimiento con las normativas vigentes para la medición de irradiancia (IEC, 2021).

El microprocesador, configurado con los parámetros característicos del sensor y del circuito acondicionador (constante de calibración), efectúa el cálculo correspondiente para transformar el valor de tensión en el dato físico de irradiancia global, expresado en W/m². Cada registro almacenado incluye un identificador, así como la fecha y hora exactas de la medición, empleando para ello el reloj de tiempo

real (RTC) incorporado en el propio microcontrolador, que asegura el correcto etiquetado temporal de los datos.

Dado que se trata de un desarrollo en fase prototipo, se optó por almacenar las mediciones correspondientes a un día completo en la memoria interna del dispositivo, sobrescribiendo los datos al iniciar un nuevo ciclo diario. Paralelamente, los registros son transmitidos de forma continua a través de una interfaz serie TTL, lo que permite su visualización o registro externo sin interrumpir el funcionamiento del sistema.

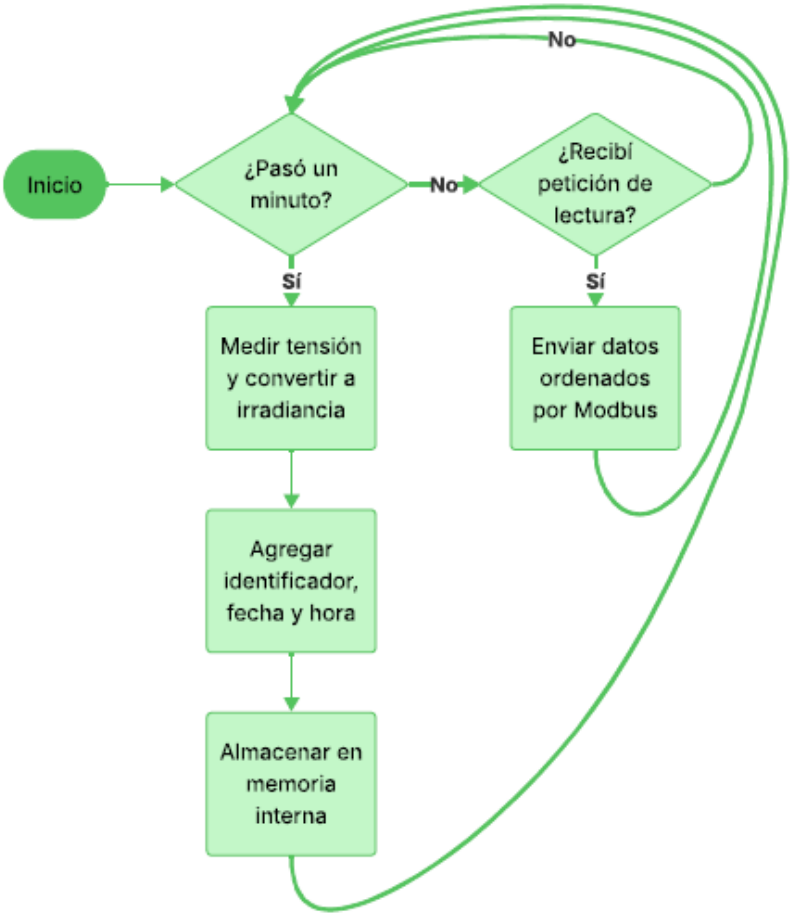


Figura 3. Diagrama de flujo del código programado.

Con el prototipo ya avanzado, compuesto por la placa STM32F103C8T6 y el circuito acondicionador, se seleccionó un módulo Ethernet con el integrado W5100, el cual posibilita la comunicación sobre TCP/IP y utiliza el bus SPI (*Serial Peripheral Interface)* para interactuar con el microcontrolador. Esta elección se fundamenta en su amplia compatibilidad y soporte para el protocolo Modbus TCP/IP, así como en la sencillez de su integración mediante interfaces SPI.

Gracias a la incorporación de este módulo, el sistema completo (Figura 4) adquiere la funcionalidad de un dispositivo "adquisidor de datos", capaz no solo de realizar la medición y el almacenamiento local, sino también de gestionar la comunicación en red. El microcontrolador coordina el procesamiento de las señales, el registro estructurado de las mediciones y, adicionalmente, administra las solicitudes provenientes de dispositivos conectados a la misma red LAN, enviando los datos requeridos conforme a las peticiones realizadas.

Esta mejora sitúa al prototipo en un escalón superior de interoperabilidad, sentando las bases para su integración con otros sistemas presentes en instalaciones de generación distribuida fotovoltaica, donde el protocolo Modbus TCP/IP constituye un estándar de facto para el intercambio de información operativa.

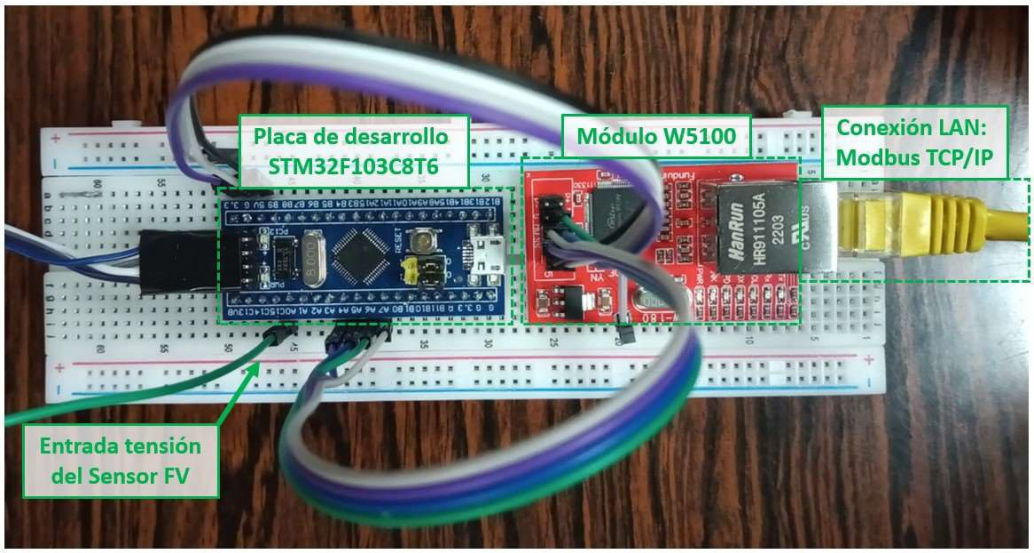


Figura 4. Prototipo del adquisidor de datos.

RESULTADOS

Se procedió a la caracterización del sensor fotovoltaico para poder dimensionar los componentes del circuito acondicionador y definir su diseño.

Para ello, se efectuaron las mediciones de laboratorio, en condiciones estandarizadas de irradiancia y temperatura, que registró la corriente de salida del sensor para distintos niveles de tensión de carga, obteniendo la curva característica I–V. La forma de la curva (Figura 5) coincide con la respuesta típica de sensores fotovoltaicos de silicio cristalino, con una corriente de cortocircuito proporcional a la irradiancia incidente y una tensión de circuito abierto acorde a las especificaciones de materiales similares. Estos resultados confirman el adecuado funcionamiento eléctrico del elemento sensor y su linealidad en la región de operación cercana a cortocircuito, condición bajo la cual será utilizado.

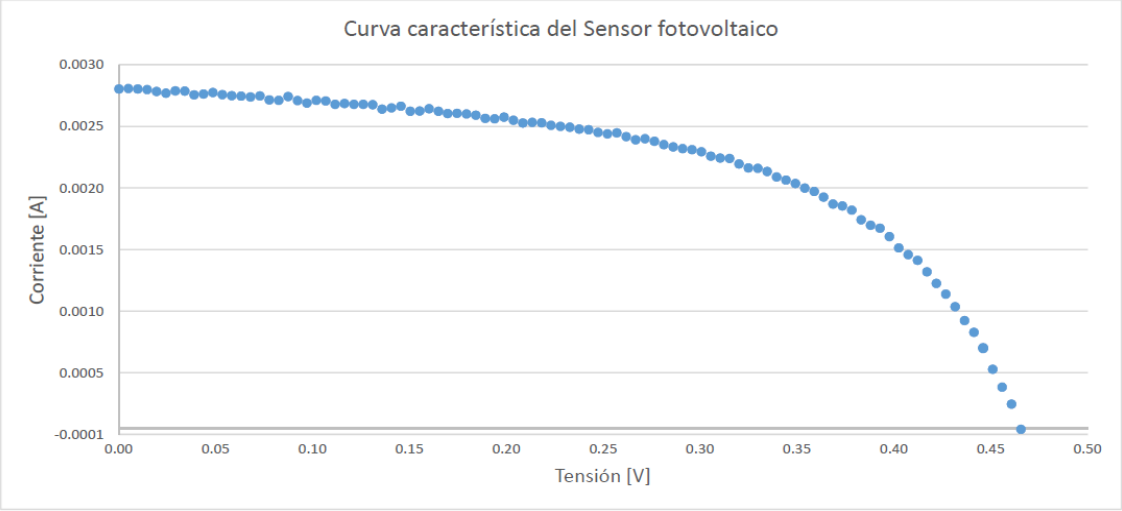


Figura 5. Característica corriente-tensión del sensor.

Luego, para completar la caracterización mencionada, se procedió a realizar el ensayo de respuesta angular. El mismo se llevó a cabo utilizando una base rotatoria para variar el ángulo de incidencia de la radiación sobre el sensor y comparando la respuesta obtenida con la ley del coseno, considerada como la ideal para radiómetros globales. Se evaluaron ángulos de elevación desde 30° hasta 150°, en pasos de 5°, para lograr su correcta caracterización (Figura 6).

Los resultados muestran que la desviación respecto a la respuesta ideal se mantiene en valores menores al 10% para los ángulos cercanos a la perpendicular, dentro de rangos previamente reportados para sensores fotovoltaicos de construcción similar (Díaz Salazar et al., 2018).

Sin embargo, se detectó una asimetría en la respuesta angular, induciendo un sesgo en las mediciones integradas diarias, afectando de manera diferenciada la estimación de la irradiancia en las horas matutinas y vespertinas.

Este comportamiento podría atribuirse a ligeras irregularidades en la geometría del encapsulado, la posición relativa del difusor o la homogeneidad óptica del mismo.

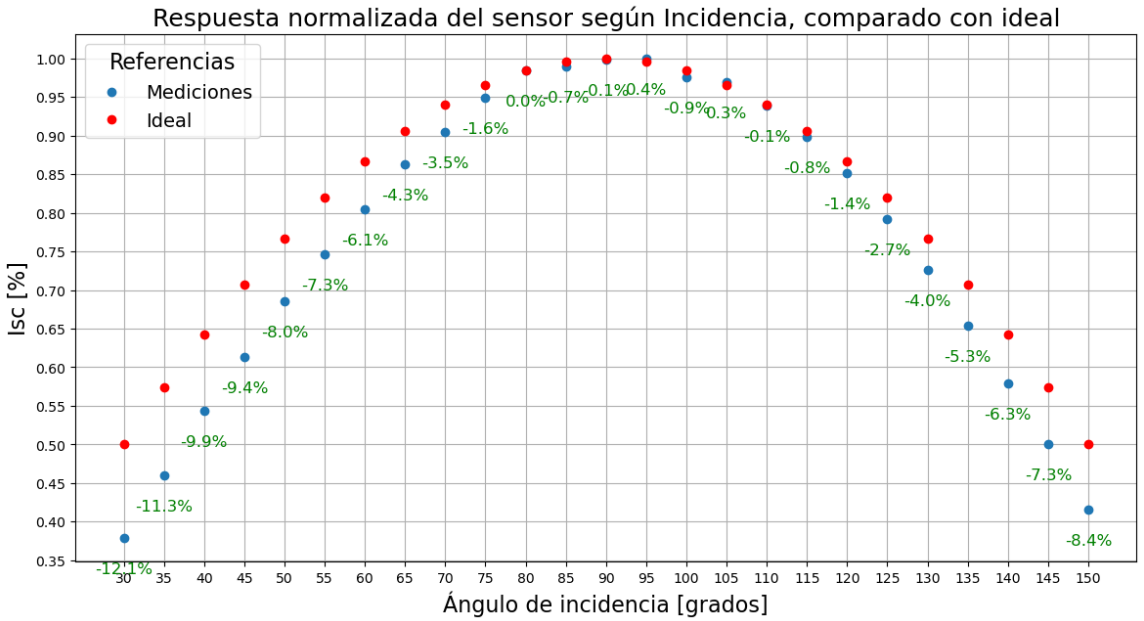


Figura 6. Respuesta angular del sensor fotovoltaico.

A partir de los resultados obtenidos en la caracterización del sensor fotovoltaico, se definieron los valores de los componentes del circuito acondicionador de señal, priorizando la compatibilidad con el rango de corrientes generado por el sensor y la obtención de una salida de tensión en el intervalo deseado. Previamente a su construcción, se realizaron simulaciones eléctricas con software especializado (SPICE) para validar la respuesta del circuito y optimizar la elección de resistencias.

Una vez ensamblado el acondicionador, se procedió a su caracterización experimental. Para ello, se evaluó su comportamiento de linealidad dentro del rango de corrientes de entrada correspondientes a la operación del sensor (cercanas al cortocircuito), registrando simultáneamente la tensión de salida. Los resultados obtenidos (Figura 7) evidencian la linealidad esperada en el rango de trabajo (0 a 5V), confirmando que la etapa de conversión corriente–tensión cumple con las especificaciones de diseño y es apta para su uso en el sistema final de adquisición.

Disponiendo del sensor fotovoltaico, junto con su circuito acondicionador de señal, ya instalado, se procedió a su calibración para garantizar la trazabilidad y exactitud de las mediciones. El procedimiento adoptado fue el método de comparación directa, empleando como instrumento de referencia un piranómetro comercial de termopila.

La calibración se realizó mediante mediciones simultáneas de irradiancia global horizontal durante un período representativo de condiciones de operación, registrando los valores obtenidos por ambos. El ajuste se efectuó mediante la regresión lineal de los datos registrados, obteniéndose el coeficiente de calibración correspondiente al sensor fotovoltaico.

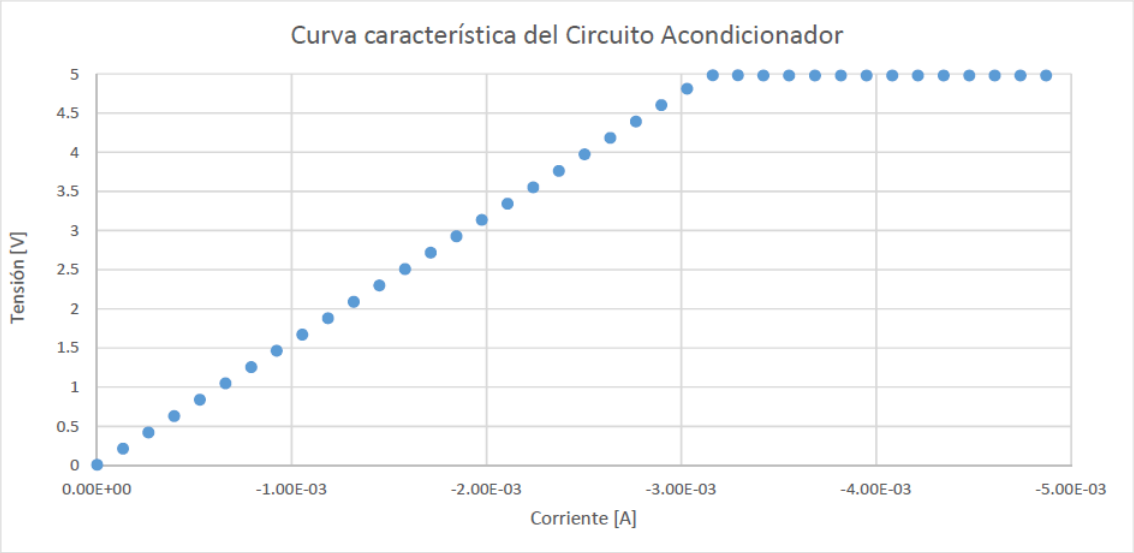


Figura 7. Tensión de salida respecto a la corriente de entrada del circuito acondicionador.

Posteriormente, y aplicando dicho coeficiente, se contrastaron nuevamente las mediciones del sensor desarrollado en el DES con las del piranómetro de referencia. Los resultados (Figura 8) muestran que la desviación relativa entre ambos equipos se mantiene por debajo del 5% en todo el rango de irradiancias evaluado, valor que se encuentra dentro de los márgenes aceptados para este tipo de sensores (Clase B según IEC, 2021) en aplicaciones de monitoreo operativo y validación de recurso.

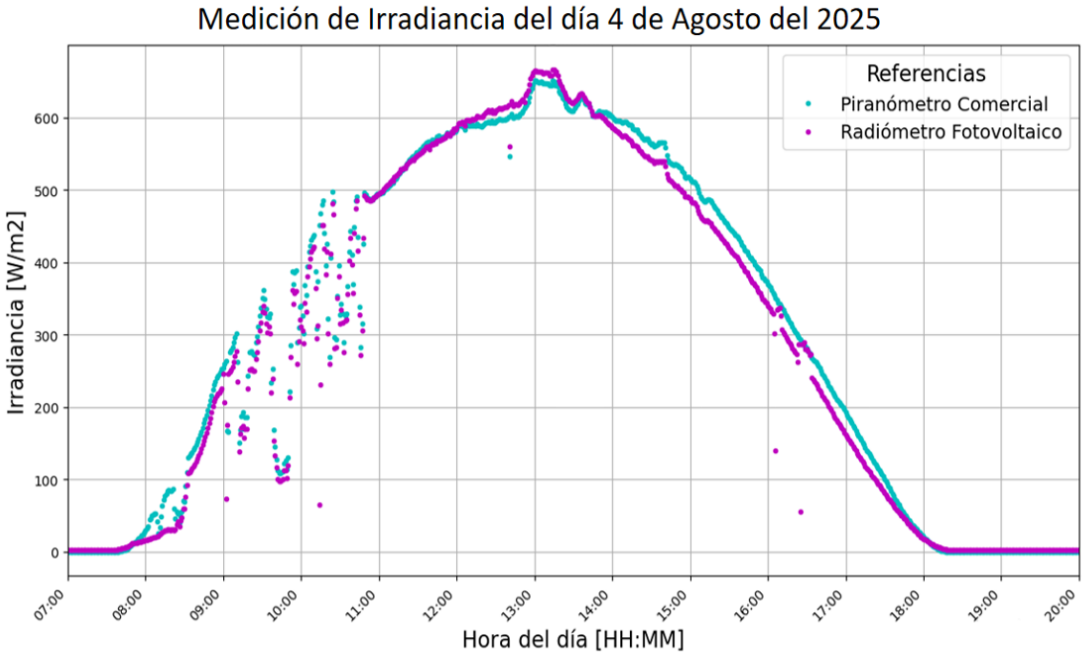


Figura 8. Comparación de medición diaria de irradiancia realizada con un piranómetro comercial.

CONCLUSIONES

El desarrollo presentado constituye un avance hacia la implementación de sistemas de medición de irradiancia solar basados en sensores fotovoltaicos de bajo costo, destinados a aplicaciones en generación distribuida fotovoltaica de pequeña y mediana escala. A través de un abordaje modular y escalable, se resolvieron tres aspectos clave que suelen limitar el uso extensivo de sensores de silicio en contextos operativos: la pérdida de precisión por caída de tensión en el cableado, la ausencia de sistemas de adquisición integrados adaptados a presupuestos reducidos, y la dificultad de integración a infraestructuras de monitoreo mediante protocolos industriales.

La eliminación de la resistencia interna del sensor, junto con el uso de un acondicionador externo de señal, permitió reducir la complejidad constructiva del encapsulado y minimizar errores asociados a la caída de tensión en cables, lo que amplía la flexibilidad de instalación en campo. La implementación de un sistema de adquisición basado en un microcontrolador STM32F103C8T6 demostró ser adecuada para digitalizar y almacenar las mediciones, ofreciendo una resolución compatible con los estándares del sector (IEC, 2021) y una correcta gestión temporal mediante RTC.

La integración de una interfaz Ethernet mediante el módulo W5100 permitió la comunicación vía Modbus TCP/IP, garantizando compatibilidad con plataformas de monitoreo comerciales. Esto amplía las capacidades del dispositivo para su aplicación en proyectos profesionales y sistemas de monitoreo energético integrados, donde el uso de algoritmos de aprendizaje en tiempo real facilita la implementación de estrategias eficientes en sistemas de generación distribuida con almacenamiento.

Como trabajo futuro se contempla la validación meteorológica del sistema en comparación con sensores de referencia y su operación extendida en campo bajo diversas condiciones ambientales. Asimismo, se planea optimizar el consumo energético del sistema para permitir su alimentación autónoma mediante fuentes renovables, y explorar la integración de otros sensores ambientales (temperatura, humedad, inclinación) a través del mismo bus de adquisición.

El enfoque adoptado se presenta como una alternativa viable para facilitar el acceso a datos de irradiancia confiables, fomentar desarrollos tecnológicos locales y contribuir al seguimiento preciso del recurso solar en distintas regiones del país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todos los integrantes del DES de la CNEA que participaron en el desarrollo de los sensores de irradiancia fotovoltaicos, en particular a M. Díaz Salazar por su colaboración en las mediciones de laboratorio e interpretación de resultados, como así también a M. Tamasi por su aporte en el análisis de resultados de ensayos de laboratorio.

REFERENCIAS

Bolzi C., Martínez Bogado M.G. y Tamasi M.J.L. (2013). Reseña del Desarrollo de Sensores Solares en CNEA para Misiones Satelitales. Energías Renovables y Medio Ambiente 31, 29-36.

Díaz Salazar M., Kondratiuk N., Moreno A., Martínez Bogado M.G., Tamasi M.J.L. y Di Santo J. (2018). Caracterización angular automatizada de sensores solares fotovoltaicos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 22, 07.01-07.09.

Durán J.C., Bolzi C.G., Godfrin E.M., Plá J.C., Merino L.M., Bruno C. J. y Tamasi M.J.L. (1998). Fabricación de radiómetros de bajo costo en la Argentina. Algunas propuestas teóricas y primeras experiencias. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 2, 5.9-5.12.

Green M.A. (1986). Solar cells: Operating Principles, Technology and System Applications. University of New South Wales, Australia.

IEC (2021). IEC 61724-1:2021. Photovoltaic System Performance - Part 1: Monitoring. International Electrotechnical Commission. Dirección URL: https://webstore.iec.ch/en/publication/65561

IMPROVEMENTS AND DIGITALIZATION OF A LOW-COST PHOTOVOLTAIC RADIOMETER

ABSTRACT: This paper details the improvements made to the photovoltaic radiometer manufactured by the Solar Energy Department of the National Atomic Energy Commission. First, the sensor was redesigned as a current source and then connected to an external conditioning circuit that transforms the signal to a standardized voltage range. Next, a microcontroller-based data acquisition system was implemented to measure, process, and temporarily store the voltage. This system takes average measurements per minute and

transmits the data via a serial interface. Finally, an Ethernet communication module was incorporated, allowing the instrument to be integrated with monitoring platforms used in commercial or medium-scale distributed generation installations using standardized Modbus TCP/IP protocols. For the analog stage, the circuit's linearity and the sensor's angular response were verified. Successful transmission and connection tests were performed, and the device is expected to be integrated into the monitoring platform used at the Department's facilities.

Keywords: photovoltaic solar energy, solar radiation, photovoltaic radiometer, data acquisition and transmission.

ASADES

Acta de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente
Vol. 12, pp 204-209 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

ENTRE NÚMEROS Y LEYES FÍSICAS: INTEGRACIÓN DISCIPLINAR Y TRABAJO EN EQUIPO EN LA FORMACIÓN ENERGÉTICA EN LA FAU-UNLP

Marañón Di Leo, Julio[1 2 3], **Cappello, Viviana** [3 4], **Arrarás, Stella Maris** [3], **Giulietti, Marcelo** [3 5]
[1] UIDET LaCLyFA/CTA, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
[3] Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata.
[4] Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias (IEC) Universidad Tecnológica Nacional FRLP
[5] Grupo de eficiencia energética aplicada, Universidad Tecnológica Nacional FRLP
1900- La Plata- Buenos Aires- Argentina
Tel. +54221-6165705 e-mail: vcappello@gmail.com

RESUMEN: Este trabajo describe una experiencia pedagógica desarrollada en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata, en la que se articularon los contenidos disciplinares de Matemática y Física con una problemática de alta relevancia contemporánea: la energía y su uso racional en entornos urbanos. La propuesta surge como respuesta a la necesidad de vincular los conocimientos científico-técnicos con la realidad socioambiental, con el objetivo de formar profesionales comprometidos con el desarrollo sustentable. A través de actividades integradoras orientadas al trabajo en equipo, los estudiantes abordaron el estudio de dispositivos energéticos, el análisis de consumo en edificios y la evaluación de condiciones de eficiencia. Se emplearon herramientas matemáticas para la interpretación de datos y se analizaron principios físicos vinculados al funcionamiento de tecnologías energéticas como aerogeneradores urbanos. La experiencia se desarrolló en el marco del primer año de la carrera de Arquitectura. Los resultados evidencian una mejora en la comprensión conceptual, mayor interés en los temas tratados y desarrollo de competencias transversales. Este trabajo aporta una perspectiva innovadora sobre la enseñanza de las ciencias básicas en carreras proyectuales, en diálogo con los desafíos energéticos actuales.

Palabras clave: energías, tecnología, transferencia, educación.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Matemática y la Física en las carreras de Arquitectura y Diseño suele orientarse al desarrollo de capacidades lógico-deductivas y a la resolución de problemas abstractos. No obstante, los desafíos actuales vinculados a la crisis energética y al cambio climático hacen imprescindible resignificar estos contenidos desde un enfoque aplicado, que fomente la conciencia ambiental y potencie el compromiso de los futuros profesionales con el desarrollo sostenible.
En esta experiencia se propuso integrar los saberes disciplinares con una problemática concreta: la eficiencia energética en entornos urbanos, abordando casos que permitieran vincular teoría y práctica. Entre ellos, el análisis de la energía eólica a pequeña escala constituyó un recurso didáctico relevante, ya que permitió a los estudiantes aplicar herramientas matemáticas y principios físicos en la evaluación de consumos, rendimientos y condiciones de aprovechamiento del recurso.
Más allá de sus limitaciones en el ámbito urbano —impacto visual, acústico, turbulencia del viento y restricciones de instalación—, la energía eólica sirvió como escenario pedagógico para ejercitar procesos de modelización y simulación, discutir alcances y limitaciones de los modelos, y fundamentar decisiones de diseño. De este modo, se buscó que los estudiantes reconocieran el valor de las ciencias básicas como instrumentos para comprender y transformar la realidad desde una perspectiva interdisciplinaria.

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Diversos marcos teóricos sostienen la necesidad de articular las ciencias básicas con problemáticas sociales y ambientales, en línea con la perspectiva de la educación para el desarrollo sostenible promovida por la UNESCO (2017, 2021). Desde esta mirada, la Matemática y la Física no deben limitarse a la transmisión de conceptos abstractos, sino que se constituyen en herramientas para interpretar la complejidad de los fenómenos y fundamentar decisiones orientadas a la sustentabilidad (Tilbury, 2011).

En el ámbito pedagógico, la modelización matemática y física ha sido señalada como un recurso central para acercar la teoría a la práctica profesional (Blum, 2015; Borromeo Ferri, 2018). Estas prácticas favorecen no solo la comprensión conceptual, sino también el desarrollo de competencias transversales, como el análisis crítico, la capacidad de abstracción y la resolución de problemas en contextos auténticos. A su vez, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y el Aprendizaje-Servicio (ApS) constituyen enfoques metodológicos ampliamente documentados que promueven la integración del conocimiento con desafíos del mundo real, potenciando la motivación estudiantil y la responsabilidad social (Thomas, 2000; Tapia, 2018).

En carreras de Arquitectura y Diseño, múltiples experiencias han demostrado la relevancia de incorporar proyectos relacionados con la eficiencia energética y las energías renovables en la enseñanza de ciencias básicas. Trabajos recientes en universidades de América Latina y Europa reportan mejoras en el aprendizaje y en la disposición hacia la interdisciplinariedad cuando los estudiantes abordan casos vinculados a la energía solar, eólica y bioclimática como escenarios de aplicación (Martínez et al., 2021; Gamboa & Torres, 2019). Estas experiencias muestran que la vinculación de los contenidos disciplinares con problemáticas ambientales reales no solo incrementa la motivación, sino que también desarrolla competencias profesionales alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 4 y 7).

La propuesta presentada se enmarca en una tradición académica que concibe a la Matemática y la Física como lenguajes y herramientas de transformación, capaces de integrarse a la formación proyectual para dotar a los futuros arquitectos y diseñadores de criterios técnicos y éticos frente a los desafíos de la crisis energética y climática.

METODOLOGÍAS DE ESTUDIO

El diseño de la experiencia didáctica se apoyó en un doble eje: por un lado, la referencia a metodologías técnicas utilizadas en la investigación y el desarrollo de sistemas eólicos; por otro, la adaptación de esos enfoques a dinámicas pedagógicas que permitieran a los estudiantes de primer año de Arquitectura y Diseño apropiarse de conceptos de Matemática y Física a través de la práctica.

Para introducir a los estudiantes en el análisis de fenómenos físicos complejos, se retomaron tres enfoques característicos de la ingeniería eólica:

El Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP cuenta con un túnel de viento experimental destinado al análisis aerodinámico de perfiles, maquetas y dispositivos en condiciones controladas. Este equipamiento permite reproducir corrientes de aire de distinta velocidad y dirección, a fin de observar fenómenos como separación de flujo, turbulencia, fuerzas de sustentación y arrastre, así como la influencia de obstáculos en la circulación del aire. Su función principal es brindar un espacio de investigación aplicada y formación técnica en el campo de la aerodinámica, tanto para proyectos académicos como para trabajos de transferencia tecnológica.

En el marco de la experiencia didáctica aquí presentada, los estudiantes de primer año de Arquitectura realizaron una visita guiada al laboratorio de túnel de viento, donde pudieron observar ensayos sobre maquetas de edificaciones y dispositivos de generación eólica a pequeña escala. La demostración les permitió visualizar en tiempo real el comportamiento del flujo de aire alrededor de distintos volúmenes, identificar zonas de recirculación y turbulencia, y comprender cómo las condiciones del entorno urbano afectan la eficiencia de un sistema de aprovechamiento energético.

A partir de esta visita se desarrollaron actividades de aula que retomaron lo observado en el laboratorio: análisis de esquemas de flujo sobre obstáculos, interpretación de capas límite y aplicación de conceptos de Matemática (proporciones, escalas, estimaciones de superficie) y Física (velocidad, potencia, transferencia de energía).

Mediciones en túnel de viento: Se explicó cómo la experimentación controlada permite analizar el comportamiento de dispositivos o maquetas bajo distintas configuraciones de flujo. En el aula, este

enfoque se tradujo en el uso de maquetas sencillas y videos de ensayos para discutir cómo influyen variables como la dirección, la velocidad y la turbulencia del viento.
Simulaciones numéricas (CFD – Computational Fluid Dynamics): Se presentaron ejemplos de cómo se resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes para modelar el comportamiento del aire alrededor de obstáculos. En la práctica pedagógica, se utilizaron animaciones y simulaciones interactivas que permitieron a los estudiantes observar, manipular y predecir escenarios de flujo en entornos urbanos.
Evaluaciones in situ: Se mostró cómo en proyectos reales es necesario medir condiciones del viento en emplazamientos concretos. En el aula, se adaptó este enfoque a actividades de diagnóstico de consumo energético en espacios cotidianos (aulas, pasillos, viviendas), utilizando instrumentos básicos y planillas de cálculo para estimar consumos y pérdidas.
Además, se introdujeron conceptos como flujo sobre obstáculos**,** zonas de recirculación **y** capa límite, no desde un nivel ingenieril exhaustivo, sino como contexto para ejercitar el razonamiento físico-matemático. Estos tópicos permitieron vincular geometrías urbanas con configuraciones de viento y discutir sus implicancias en el diseño eficiente de edificios.
La experiencia no solo acercó a los estudiantes a un recurso tecnológico de alto nivel, sino que también funcionó como puente entre la investigación universitaria y la formación de grado**,** reforzando la idea de que las ciencias básicas son herramientas fundamentales para el diseño arquitectónico sustentable.

Adaptación metodológica en el aula

La transposición de estos enfoques técnicos se concretó en una secuencia didáctica que combinó instancias individuales y colaborativas:
Modelización matemática progresiva**:** los estudiantes comenzaron con ejercicios simples de escalas y proporciones para estimar consumos energéticos. Luego, avanzaron hacia el uso de fórmulas físicas, como la ecuación de potencia eólica, y finalmente elaboraron modelos comparativos que integraban criterios de eficiencia y superficie útil.
Simulación digital aplicada**:** se trabajó con recursos audiovisuales (videos, modelos 2D/3D) y software accesible para representar el comportamiento del viento en distintas configuraciones urbanas. Los estudiantes analizaron cómo pequeñas variaciones en el entorno alteraban los resultados y discutieron las diferencias entre teoría y simulación.
Resolución de problemas contextualizados**:** se plantearon casos prácticos como pérdidas de calor en aulas, comparación de iluminación artificial y natural o evaluación del potencial de ventilación en un espacio de trabajo. Estos problemas obligaron a aplicar conceptos matemáticos (funciones, proporciones, cálculos de consumo) y físicos (transferencia de energía, dinámica del aire).
Trabajo en equipo y proyectos de diagnóstico: los grupos realizaron relevamientos energéticos de espacios cotidianos, elaboraron informes con propuestas de mejora y defendieron sus resultados en instancias de exposición oral. El intercambio fomentó la argumentación, el uso de datos para justificar decisiones y la integración de miradas diversas.
Evaluación formativa y de competencias**:** se utilizaron rúbricas que contemplaron no solo la precisión conceptual, sino también la creatividad en la propuesta, la claridad en la comunicación y la capacidad de colaboración. De este modo, se evaluó el desarrollo de competencias transversales, en línea con los objetivos del plan de estudios.

Metodología de trabajo áulico

Las actividades se desarrollaron en un entorno autogestionado (AulaWeb - FAU), a través de una secuencia articulada que integró contenidos disciplinares, herramientas tecnológicas y problemáticas reales vinculadas a la eficiencia energética en el ámbito urbano. La propuesta combinó instancias de trabajo individual y colaborativo, resolución de problemas contextualizados y el uso de estrategias didácticas basadas en la modelización matemática **y la** simulación física como herramientas de análisis, predicción y toma de decisiones.
La simulación fue empleada como estrategia pedagógica para representar, visualizar y analizar fenómenos físicos complejos vinculados al flujo del viento y su interacción con edificaciones. Se utilizaron recursos digitales, como videos de simulaciones CFD (dinámica de fluidos computacional), modelos animados en 2D/3D, y entornos interactivos que permitieron explorar variables como la dirección, velocidad y turbulencia del viento en distintas configuraciones urbanas. Estas herramientas

ofrecieron a los estudiantes la posibilidad de observar cómo pequeñas variaciones en el entorno modifican el comportamiento del flujo de aire y, en consecuencia, la eficiencia de los dispositivos de generación eólica.
Paralelamente, se promovió el uso de modelización matemática en diferentes niveles:

- En una primera instancia, los estudiantes realizaron estimaciones de consumo energético en edificios mediante escalas, proporciones y reglas de tres simples.

Posteriormente, aplicaron fórmulas físicas (por ejemplo, la ecuación de potencia eólica: $P = \frac{1}{2}\rho A v^3$, donde: P**:** Potencia eólica captada por el aerogenerador (W, vatios). Representa la energía que puede transformarse en electricidad.
ρ (rho): Densidad del aire (kg/m³). Depende de la altitud, la presión atmosférica y la temperatura.
A: Área barrida por las palas del aerogenerador (m²). Es la superficie circular delimitada por el giro de las palas, calculada como $A=\pi r^2$, donde r es el radio del rotor.
v: Velocidad del viento (m/s). Es la variable más influyente, ya que la potencia depende del cubo de esta velocidad.) para evaluar el rendimiento teórico de aerogeneradores bajo diferentes condiciones ambientales y urbanas.

- Finalmente, elaboraron modelos comparativos simples que les permitieron justificar decisiones de diseño en función de criterios cuantitativos, como superficie útil, eficiencia térmica, o potencial eólico estimado.

Estas actividades de modelización, guiadas por consignas abiertas, favorecieron el desarrollo del pensamiento crítico, la argumentación con base numérica y la toma de decisiones fundamentadas. Además, se integraron con herramientas digitales accesibles como planillas de cálculo, software de dibujo técnico y presentaciones interactivas.

Actividades principales

- Resolución de situaciones problemáticas contextualizadas (pérdida de calor en aulas, iluminación artificial vs. natural, estimación de consumo en edificios).
- Análisis de dispositivos físicos relacionados con la eficiencia energética, evaluando su funcionamiento, materiales, instalación y rendimiento estimado.
- Proyectos grupales de diagnóstico energético de espacios cotidianos (aulas, viviendas) con presentación de propuestas de mejora basadas en datos simulados o modelados.
- Discusiones orientadas a contrastar resultados teóricos con situaciones reales, permitiendo reconocer límites, alcances y márgenes de error en las simulaciones realizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la experiencia se evaluaron a partir de la aplicación de una encuesta estructurada y una rúbrica de desempeño, administradas al cierre de la actividad. La encuesta incluyó preguntas con escala de Likert de 1 a 5 (desde “muy en desacuerdo” hasta “muy de acuerdo”) en relación con la motivación, la comprensión de conceptos y la conciencia ambiental. La rúbrica, por su parte, se utilizó para valorar el trabajo en equipo y la calidad de las propuestas de diagnóstico energético.

A partir de la triangulación de ambas fuentes de información (encuesta y rúbrica), se calcularon los porcentajes de logro como la proporción de estudiantes que alcanzaron niveles de logro “alto” o “muy alto” en cada dimensión. La muestra estuvo compuesta por 72 estudiantes de primer año distribuidos en 18 equipos de trabajo.

- Motivación (85%): corresponde a los estudiantes que manifestaron haber sentido mayor interés en la temática y predisposición a continuar trabajando en problemas similares.
- Comprensión (78%): refleja a quienes lograron aplicar de manera correcta fórmulas y conceptos de Matemática y Física en la resolución de problemas.
- Trabajo en equipo (82%): surge de la rúbrica que evaluó la capacidad de organización, distribución de roles y calidad de la presentación grupal.
- Conciencia ambiental (90%): corresponde a las respuestas afirmativas sobre la importancia del uso racional de la energía y el compromiso con la sustentabilidad.

Indicador	Instrumento
Motivación	Encuesta Likert (1-5)
Comprensión	Encuesta Likert (1-5) + resolución de problemas
Trabajo en equipo	Rúbrica de desempeño grupal
Conciencia ambiental	Encuesta Likert (1-5) + discusión reflexiva

Indicador	Criterio de calidad	Porcentaje obtenido
Motivación	Proporción de respuestas 'alto' o 'muy alto'	85%
Comprensión	Aplicación correcta de fórmulas y conceptos	78%
Trabajo en equipo	Organización, roles y calidad de presentación	82%
Conciencia ambiental	Reconocimiento explícito de importancia del uso racional de energía	90%

Tablas resumen de los indicadores de resultados

En la discusión grupal, los estudiantes destacaron que las actividades de simulación digital y la modelización matemática aplicada a casos reales fueron las que más favorecieron su aprendizaje y motivación. Asimismo, se observó que la combinación de enfoques técnicos (referencias a CFD, túnel de viento y estudios in situ) con estrategias didácticas accesibles permitió tender un puente entre los conceptos abstractos y la realidad del diseño arquitectónico.

CONCLUSIONES

La incorporación de temáticas energéticas en la enseñanza de Matemática y Física en la FAU-UNLP no solo enriquece la formación técnica de los estudiantes, sino que también fortalece su rol activo como agentes de cambio frente a los desafíos ambientales contemporáneos. Al situar los contenidos de las ciencias básicas en un contexto real y socialmente relevante, se logra superar la visión fragmentada y abstracta de las disciplinas, favoreciendo un aprendizaje más significativo y transferible**.**

El trabajo en equipo, la resolución de problemas contextualizados y el uso de estrategias de modelización matemática **y** simulación física promovieron competencias transversales esenciales: pensamiento crítico, comunicación, argumentación con base numérica y toma de decisiones fundamentadas. Estos aspectos no solo mejoran la comprensión conceptual, sino que también preparan a los futuros profesionales para enfrentar situaciones complejas en su campo disciplinar con responsabilidad y creatividad.

Asimismo, la experiencia evidencia que la curricularización de la extensión universitaria es una vía efectiva para integrar la formación académica con las necesidades sociales y ambientales. En este caso, la problemática energética se transformó en un espacio de articulación entre docencia, investigación y compromiso comunitario, lo que potencia la pertinencia social del trabajo universitario.

En perspectiva, este tipo de propuestas no solo resultan valiosas para el desarrollo formativo de los estudiantes, sino que constituyen un aporte a la construcción de una universidad más sustentable, innovadora e inclusiva, capaz de dar respuestas concretas a los desafíos del siglo XXI

REFERENCIAS

Al-Quraan, A.; Stathopoulos, T.; Pillay, P. (2016). Comparison of wind tunnel and on site measurements for urban wind energy estimation of potential yield. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 158, 1–10.

Balduzzi, F.; Bianchini, A.; Carnevale, E.A.; Ferrari, L.; Magnani, S. (2012). Feasibility analysis of a Darrieus vertical-axis wind turbine installation in the rooftop of a building. Appl. Energy, 97, 921–929.

Beller, C. (2011). Urban Wind Energy. Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Risø-PhD No. 89(EN)

Benjumeda, F. J., Romero, I. M. (2017). Ciudad Sostenible: un proyecto para integrar las materias científico-tecnológicas en Secundaria. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 14(3), 621-637.

Dilimulati, A.; Stathopoulos, T.; Paraschivoiu, M. (2018). Wind turbine designs for urban applications: A case study of shrouded diffuser casing for turbines. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 175, 179–192.
Ding, Y. (2019). Data Science for Wind Energy (1st ed.). Chapman and Hall/CRC Press, London. https://doi.org/10.1201/9780429490972
GWEC (2024). Global Wind Report 2024. Technical Report; Global Wind Energy Council, Brussels, Belgium. https://www.gwec.net
https://doi.org/10.3390/app13169183
IRENA (2021). Rise of Renewables in Cities: Energy Solutions for the Urban Future; Technical Report; International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi, United Arab Emirates, https://www.irena.org/publications
Park, J.; Jung, H.-J.; Lee, S.-W.; Park, J. (2015). A New Building-Integrated Wind Turbine System Utilizing the Building. Energies, 8, 11846-11870. https://doi.org/10.3390/en81011846
Tilbury, D. (2011). *Education for Sustainable Development: An Expert Review of Processes and Learning*. Paris: UNESCO.
Tilbury, D., Mulà, I. (2011). *A Review of Education for Sustainable Development Policies from a Cultural Diversity and Intercultural Dialogue Perspective: Identifying opportunities for future action*. UNESCO.
Toja-Silva, F.; Colmenar-Santos, A.; Castro-Gil, M. (2013). Urban wind energy exploitation systems: Behaviour under multidirectional flow conditions-Opportunities and challenges. Renew. Sustain. Energy Rev., 24, 364–378.
UNESCO. (2012). Full-length Report on the UN Decade for Education for Sustainable Development (DESD). UNESCO.
UNESCO. (s.f.). Education for sustainable development lens: a policy and practice guide (ESD Lens). UNESCO.
Yildiz, S.S. (2023). Determining Wind Energy Potential Using Geographic Information System Functions: A Case Study in Balıkesir,Turkey. Appl. Sci., 13, 9183.

INTEGRATION OF ELEMENTS OF MATHEMATICS AND PHYSICS IN ENERGY TRAINING: TEAMWORK EXPERIENCES AT FAU-UNLP

ABSTRACT This paper describes a pedagogical experience developed in the Faculty of Architecture and Urbanism of the National University of La Plata, in which the disciplinary contents of Mathematics and Physics were articulated with a problem of high contemporary relevance: energy and its rational use in urban environments. The proposal arises as a response to the need to link scientific-technical knowledge with the socio-environmental reality, with the aim of training professionals committed to sustainable development. Through integrative activities aimed at teamwork, the students addressed the study of energy devices, the analysis of consumption in buildings and the evaluation of efficiency conditions. Mathematical tools were used for data interpretation and physical principles linked to the operation of energy technologies such as urban wind turbines were analyzed. The experience was developed within the framework of the first year of the Architecture career. The results show an improvement in conceptual understanding, greater interest in the topics covered and development of transversal competences. This work provides an innovative perspective on the teaching of basic sciences in design careers, in dialogue with current energy challenges.

Keywords: energy, technology, transfer, education.

ASADES

Acta de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente
Vol. 12, pp 210-222 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS SOCIALES EN EL NORDESTE ARGENTINO: DISEÑO PASIVO Y GENERACIÓN FOTOVOLTAICA COMO ESTRATEGIAS PARA LA SOSTENIBILIDAD HABITACIONAL

Dominguez N. Bruno[1]; Pilar, Claudia A.[2]; Vera, Luis H.[3]
[1] Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional del Nordeste - Av. Las Heras Nº 727 Chaco, Argentina. CP 3500 - brrunnodd@Gmail.com
[2] Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional del Nordeste - Av. Las Heras Nº 727 Chaco, Argentina. CP 3500 - claudiapilar2014@gmail.com
[3] Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Nordeste - Av. Las Heras Nº 727 Chaco, Argentina. CP 3500 - lh_vera@yahoo.com.ar

RESUMEN: Este trabajo presenta una propuesta integral de intervención sobre un prototipo de vivienda social en ejecución en la provincia del Chaco (Argentina), enmarcada en el Plan Ñachec "Módulos Habitacionales Progresivos". Esta investigación se centra en el análisis de las viviendas sociales de un barrio estatal desde un punto de vista energético, y propone su optimización a partir de estrategias de diseño bioclimático y la incorporación de sistemas de generación solar fotovoltaica. Para ello, se realizaron simulaciones del consumo eléctrico, modelado 3D y dimensionamiento técnico de un sistema fotovoltaico conectado a red. Los resultados permiten demostrar el impacto de un rediseño arquitectónico en la reducción de la demanda energética, así como la viabilidad técnica de incorporar generación distribuida en viviendas sociales. Se reflexiona, además, sobre la sostenibilidad habitacional desde un enfoque social, ambiental y territorial, considerando tanto las políticas públicas existentes como la necesidad de integrar al usuario en el uso eficiente de los recursos. La propuesta establece el objetivo de contribuir al debate sobre nuevas formas de habitar en contextos de vulnerabilidad energética y expansión urbana en el NEA, articulando diseño, energía y derecho a un hábitat digno y sustentable.

Palabras clave: vivienda social, energía solar fotovoltaica, diseño bioclimático, eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el debate en torno a la sostenibilidad energética y ambiental del hábitat ha cobrado centralidad en el campo del urbanismo y la arquitectura, especialmente frente a los desafíos impuestos por el cambio climático, la urbanización acelerada y la creciente desigualdad en el acceso a servicios básicos. En América Latina, la expansión de las ciudades ha estado históricamente atravesada por procesos de fragmentación socioespacial, informalidad y déficit habitacional, lo que ha condicionado las formas de producción y gestión del hábitat, y ha relegado criterios fundamentales como la eficiencia energética, la resiliencia ambiental y la justicia territorial.

En Argentina, la política habitacional ha estado fuertemente marcada por modelos de producción seriada de vivienda social, ejecutados principalmente por el Estado a través de licitaciones con empresas constructoras. Estos modelos han priorizado la estandarización y la velocidad de ejecución por sobre el diseño contextualizado, lo que ha derivado en unidades habitacionales con bajo desempeño térmico y energético, poco adaptadas a las condiciones climáticas locales y con escasa participación de los usuarios en su configuración espacial (Cámara Argentina de la Construcción, 2016). La revisión de todos estos aspectos desde una mirada ambiental resulta una oportunidad para mejorar la calidad de vida y el acceso equitativo a los recursos energéticos.

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

El presente trabajo se inscribe en este contexto, proponiendo una mirada crítica e investigativa sobre la sostenibilidad energética de la vivienda social en la región del Nordeste argentino (NEA), tomando como caso de estudio un prototipo habitacional en ejecución en la provincia del Chaco. La investigación se apoya en un marco teórico que articula conceptos como el derecho al hábitat digno, la eficiencia energética en el diseño arquitectónico, el rol de las energías renovables en sectores sociales vulnerables de la comunidad y la necesidad de revisar integralmente las políticas públicas que definen la matriz de producción de vivienda en el país. (Pilar, 2023)

El objetivo general de esta investigación es explorar, desde una perspectiva aplicada, cómo mejorar el desempeño energético y ambiental de la vivienda social en el NEA mediante intervenciones proyectuales integradas. Para ello, se articula una metodología que combina la revisión bibliográfica sistematizada, el análisis del marco técnico-legal, el análisis técnico del prototipo y el estudio climático del sitio, incorporando a la propuesta principios de diseño bioclimático e integrando sistemas fotovoltaicos conectados a red.

Lejos de limitarse a una propuesta técnica, este trabajo busca aportar al debate sobre nuevas formas de habitar que promuevan entornos saludables y energéticamente eficientes, favoreciendo el acceso universal a una vivienda de calidad como parte de una estrategia integral de desarrollo sostenible. En un contexto de transición energética y crisis socioambiental, el desafío de potenciar y reforzar el rol del Estado, los marcos normativos y los instrumentos de diseño, resulta urgente para avanzar hacia una política habitacional inclusiva, y ambientalmente consciente. (Guy, S. & Farmer, G. 2001)

Producción de vivienda social y transición energética en Argentina

La política habitacional argentina ha priorizado históricamente la cantidad de viviendas por sobre su calidad ambiental y eficiencia energética. Este enfoque, centrado en la producción seriada y estandarizada, permitió reducir parcialmente el déficit habitacional, pero evidenció limitaciones en cuanto a confort térmico, adaptabilidad climática y sostenibilidad. En regiones de climas cálido-húmedos como el Nordeste argentino, la reproducción de modelos genéricos sin adecuación bioclimática incrementa el consumo energético y reduce la habitabilidad. Frente a ello, se plantea la necesidad de incorporar criterios de diseño pasivo y estrategias de eficiencia que mejoren el desempeño ambiental de las viviendas, junto con procesos participativos que contemplen las realidades locales y el derecho a un hábitat digno.

El diseño bioclimático ofrece herramientas concretas para construir viviendas socialmente justas y ambientalmente sostenibles. Su integración desde las etapas iniciales del proyecto permite adaptar la arquitectura al clima local, optimizando el confort interior y reduciendo la dependencia de sistemas activos de climatización. En climas cálido-húmedos, las estrategias de ventilación cruzada, control solar y selección de materiales adecuados resultan fundamentales (Gonzalo, 2015). Estas decisiones, además de mejorar la calidad del aire y la habitabilidad, reducen la demanda energética y las emisiones asociadas. Como plantea Vale (2020), el diseño arquitectónico puede actuar como vehículo de resiliencia frente a las crisis energéticas y climáticas, siempre que se oriente desde una lógica de equidad y justicia ambiental.

En este sentido, la incorporación de fuentes renovables, en particular la energía solar fotovoltaica, representa una oportunidad para transformar la vivienda social en un ámbito activo de generación y aprendizaje energético. Dado que más del 90% de la energía disponible en el planeta tiene origen solar (Gonzalo, 2015), su aprovechamiento descentralizado mediante sistemas fotovoltaicos constituye una alternativa viable, especialmente en contextos donde los costos energéticos afectan a los sectores más vulnerables. Este modelo de generación distribuida no solo favorece la autonomía de los hogares, sino que promueve una transición justa hacia un hábitat más equitativo y sostenible. Tal como sostienen Smith y Stirling (2018), las innovaciones sociales y tecnológicas adquieren sentido cuando se articulan con procesos democráticos y comunitarios que fortalezcan la capacidad de las personas para participar en la transformación energética de su entorno.

El sector residencial como actor clave en la transición energética

En el contexto de la transición hacia una matriz energética más sostenible, el sector residencial se consolida como un actor clave por su peso en la demanda y su creciente capacidad de generación. En 2024, representó el 48,3 % del consumo eléctrico total de Argentina (CAMMESA, 2025), superando ampliamente a los sectores comercial e industrial. Este protagonismo se explica por la mayor electrificación de los usos domésticos —como climatización, cocción y agua caliente— y por la intensificación de eventos climáticos extremos que incrementan la demanda energética. Frente a ello, la eficiencia y el uso de fuentes limpias resultan esenciales para reducir la vulnerabilidad de los hogares y el impacto ambiental del parque edilicio.

Paralelamente, las energías renovables ampliaron su participación en la oferta nacional, aportando el 14,5 % de la demanda neta del sistema interconectado (Secretaría de Energía, 2024). La energía solar fotovoltaica lideró el crecimiento, con un aumento interanual del +20,9 % y una producción de 3.941 GWh (Mejor Energía, 2025). En este avance destaca la generación distribuida, impulsada por usuarios residenciales que ya representan el 57 % de la nueva potencia instalada, transformando a las viviendas en espacios activos de producción y autoconsumo energético.

La energía solar, por su modularidad, bajo mantenimiento y adaptación a diversas escalas edilicias, se presenta como la alternativa más viable para contextos periféricos y de alta radiación solar, como el Nordeste argentino (Pilar, 2023). La expansión de la potencia solar instalada —que alcanzó 1.673 MW en 2024— refleja no solo un crecimiento cuantitativo, sino también una consolidación del modelo descentralizado. Este proceso confirma que la transición energética no depende exclusivamente de grandes infraestructuras, sino también de la incorporación progresiva de soluciones accesibles y replicables en el ámbito residencial, donde la vivienda social emerge como un espacio estratégico para impulsar la autonomía y la sostenibilidad energética.

Condiciones climáticas del NEA y desafíos para la arquitectura sustentable

El Nordeste Argentino (NEA), y particularmente la provincia del Chaco, presenta condiciones climáticas exigentes que impactan directamente en la configuración del hábitat residencial. El clima cálido-húmedo de la región se caracteriza por veranos extensos, con temperaturas máximas promedios superiores a los 33 °C en enero, y niveles elevados de humedad ambiental. En contraste, los inviernos son más moderados, aunque las mínimas pueden descender por debajo de los 2 °C en las noches más frías de julio (WeatherSpark, 2025). Esta amplitud térmica, junto con una creciente demanda social de confort térmico, genera una fuerte presión sobre los sistemas de climatización residencial. Frente a este escenario, la arquitectura no puede depender exclusivamente de tecnologías activas —como aires acondicionados o calefactores eléctricos—, sino que debe avanzar hacia una integración efectiva de estrategias pasivas de diseño que reduzcan la carga térmica y el consumo energético.

Asimismo, la región cuenta con un alto potencial de aprovechamiento solar: la radiación global promedio anual ronda los 5,4 kWh/m²/día, posicionando al NEA como una de las zonas más favorables del país para la implementación de sistemas de energía renovable a escala doméstica, ya sea a través de paneles fotovoltaicos o termotanques solares. Estas condiciones requieren pensar en una arquitectura sensible al contexto, comprometida ambientalmente desde su concepción proyectual. Ello implica viviendas correctamente orientadas, con envolventes térmicamente eficientes e incorporación de tecnologías de generación eléctrica a través de energías renovables.

En este marco, el diseño sustentable no constituye una opción complementaria, sino una necesidad urgente que debe ser incorporada como principio rector del hábitat residencial, en especial en la vivienda social. Tal como sostienen Gonzalo (2015) y Pilar (2023), la articulación entre estrategias pasivas y tecnologías activas permite reducir significativamente la demanda energética, aumentar el confort térmico y avanzar hacia una justicia energética territorial. Por lo tanto, promover una arquitectura bioclimática y energéticamente eficiente no solo mejoraría la calidad de vida de los habitantes y reduciría costos de consumo, sino que también contribuirá a descomprimir la red eléctrica durante los

picos estacionales, a reducir la dependencia de fuentes fósiles y a construir ciudades más resilientes frente a los desafíos ambientales de la actualidad.

Resultados obtenidos

Uno de los primeros pasos de esta investigación fue la construcción de un marco teórico que articula los conceptos centrales de la arquitectura sustentable, el diseño bioclimático, la eficiencia energética en la escala residencial, las tecnologías de energías renovables y la noción de transición energética justa. Este marco, elaborado a partir de la revisión de bibliografía especializada y documentos técnicos, constituye una base conceptual transferible para futuras investigaciones y desarrollos proyectuales en contextos similares. El análisis incluyó un diagnóstico actualizado del panorama energético argentino, con especial atención a la región del NEA, caracterizada por una alta radiación solar y una creciente vulnerabilidad energética en sectores populares.

En el campo de los estudios sobre eficiencia energética en la vivienda social argentina, diversas investigaciones han priorizado la cuantificación del comportamiento térmico a través de indicadores técnicos de la envolvente —como la transmitancia térmica, el factor de forma o la carga de refrigeración estacional— (Michaux, 2023). Los estudios centrados en la evaluación post-constructiva del desempeño térmico constituyen un aporte esencial al conocimiento técnico sobre la vivienda social. El presente trabajo amplía esta perspectiva al incorporar el enfoque proyectual como instancia anticipatoria, donde las decisiones de diseño se convierten en herramientas de eficiencia energética y sostenibilidad social. De esta manera se adopta un enfoque exploratorio de carácter proyectual, que integra las dimensiones técnica, morfológica y social desde la instancia de diseño. En lugar de limitarse a medir la eficiencia de un modelo construido, se busca anticiparla mediante estrategias pasivas, modelado digital y simulaciones energéticas simplificadas orientadas a fundamentar decisiones arquitectónicas. Este posicionamiento complementa los aportes de Michaux (2023), trasladando el foco desde la evaluación ex post hacia la generación de herramientas proyectuales aplicables en contextos de vivienda social del Nordeste argentino.

En cuanto al caso de estudio, se realizó un análisis técnico y arquitectónico integral del prototipo de vivienda social (figura 1) emplazado en Colonia Popular, Chaco, perteneciente a la licitación privada n° 15/2025 bajo el marco del “Convenio De Colaboración Institucional Entre El Ministerio De Desarrollo Humano Y El Instituto Provincial De Desarrollo Urbano Y Vivienda De La Provincia Del Chaco”. El conjunto habitacional analizado está compuesto por diez viviendas de igual tipología, dispuestas en los cuatro lados perimetrales de una manzana. Si bien esta disposición homogénea y repetitiva responde a criterios de economía de escala y estandarización de procesos constructivos —frecuentes en la producción pública de vivienda— presenta limitaciones desde el punto de vista del diseño climático y el comportamiento térmico. Este análisis evidenció la omisión en la adecuación bioclimática del modelo, especialmente en relación con su orientación, su diseño de envolvente, su comportamiento térmico pasivo y su equipamiento energético. El diagnóstico permitió identificar las principales causas de su alta dependencia de sistemas activos de climatización, especialmente en verano.

Figura 1: Detalle Arquitectónico de Caso de Estudio Seleccionado, Módulos habitacionales progresivos en Colonia Popular, Chaco. Fuente: Instituto Provincial de Desarrollo Urbano y Vivienda (IPDUV).

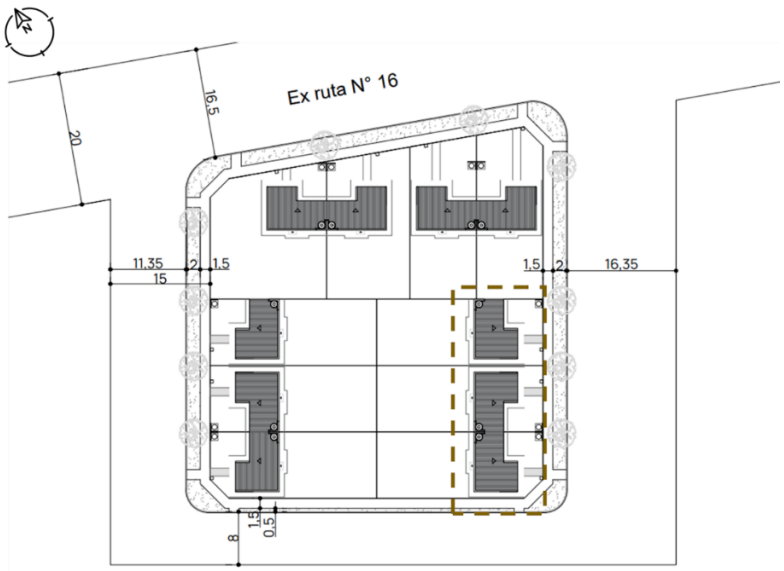


Figura 2: Esquema de Indicación de Caso de Estudio Especifico Dentro del Programa de Ejecución de los Módulos Habitacionales. Fuente: Elaboración Propia en base a Pliego Licitatorio.

El análisis de este sector de la manzana revela un prototipado rígido de las viviendas, sin adaptaciones específicas según orientación y posición en el lote, constituye una debilidad del proyecto urbano-arquitectónico, donde un grupo de unidades funcionales se encuentran en condiciones de orientación menos favorables que otras (ver figura 2). Las unidades cuyas fachadas principales se encuentran orientadas hacia el sureste, las cuales son tomadas como objeto de estudio en el presente trabajo), muestran mayores vulnerabilidades térmicas, tanto por su exposición solar como por la carencia de aberturas estratégicas, protecciones pasivas y envolventes térmicamente eficientes. Esta situación confirma la necesidad de repensar los modelos de vivienda social desde un enfoque más sensible al contexto climático y orientado al diseño térmico pasivo. El punto de partida para el desarrollo de la propuesta de optimización de la vivienda en estudio fue la documentación técnica oficial del proyecto, provista por el organismo responsable de la licitación de dicho conjunto de unidades funcionales, en el cual se detallan las especificaciones tecnológicas y se aprecian las características espaciales y funcionales de la misma (ver figura 3).

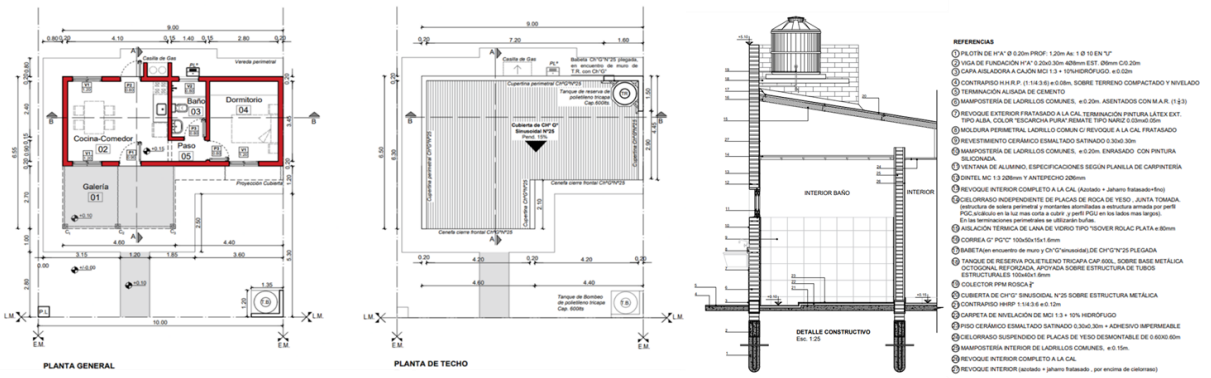


Figura 3: Documentación Técnica del Prototipo Analizado. Fuente: Instituto Provincial de Desarrollo Urbano y Vivienda (IPDUV).

El sistema constructivo de los módulos habitacionales responde a criterios de economía, simplicidad y rápida ejecución, propios de la vivienda social. La estructura se compone de cimientos de pilotines y vigas de encadenado de hormigón armado, con muros de ladrillo macizo revocados en ambas caras. Esta configuración otorga una elevada masa térmica que permite retardar la transmisión del calor, aunque la ausencia de aislación o cámaras de aire genera una transmitancia elevada y acumulación térmica en el interior durante los días cálidos. La cubierta, conformada por chapa galvanizada sobre estructura metálica liviana y cielorraso suspendido de placas de yeso con cámara de aire no ventilada, presenta baja inercia térmica y se constituye como el principal punto de ganancia solar, ya que la chapa metálica transmite rápidamente el calor hacia el interior. Las aberturas de aluminio con vidrios simples, sin ruptura de puente térmico, intensifican esta condición al permitir la entrada directa de radiación y ofrecer baja resistencia al flujo de calor.

En conjunto, estos factores explican el bajo desempeño térmico del prototipo, que tiende a registrar temperaturas internas elevadas durante gran parte del día. La eficiencia de la vivienda depende, por tanto, de una envolvente básica poco adaptada al clima cálido-húmedo del NEA, lo que limita el confort y la eficacia de las estrategias pasivas disponibles

A partir de este diagnóstico, se desarrolló una propuesta de rediseño del prototipo, basada en la incorporación de estrategias de diseño pasivo y también se tuvo en cuenta uno de los principales fundamentos de la propuesta, la dinámica evolutiva, que caracteriza a este tipo de viviendas sociales, donde la unidad base es generalmente ampliada por los propios habitantes con el paso del tiempo. Frente a esto, se propone que el organismo adjudicatario incorpore planos de ampliación proyectual en la documentación entregada, guiando al usuario en un proceso de crecimiento ordenado y eficiente desde el punto de vista ambiental como se demuestra en la figura 4. Esto permite evitar ampliaciones improvisadas que obstruyan ventilaciones y generen espacios mal orientados lo cual aumentaría inevitablemente la demanda energética.

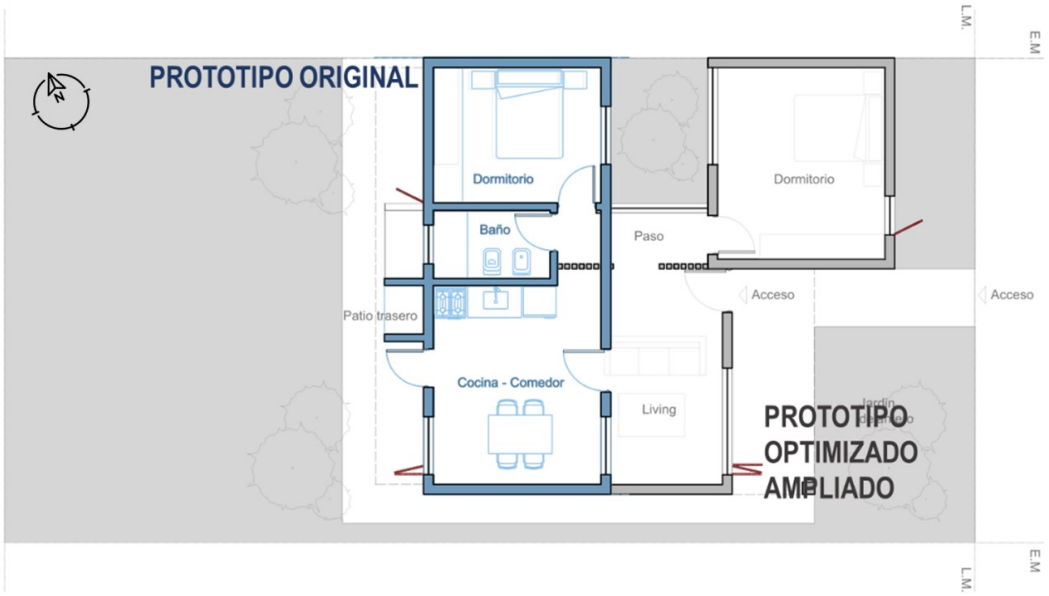


Figura 4: Esquema de Propuesta de Prototipo Optimizado Ampliado en Comparación al Módulo Original Estudiado. Fuente: Elaboración Propia.

En términos de diseño, se propone una redistribución de las aberturas, aumentando sus dimensiones y permitiendo la ventilación cruzada en todos los locales. Estas aberturas se acompañan con pantallas solares móviles de madera dispuestas verticalmente, que filtran la radiación directa sin obstruir la ventilación ni la iluminación natural. A nivel del entorno inmediato, se incorpora vegetación caducifolia en posiciones estratégicas frente a las fachadas más expuestas, lo que permite sombrear la envolvente durante el verano y favorecer la captación solar en invierno, regulando así la temperatura interior de manera natural. Se propone reemplazar las carpinterías simples por ventanas con doble vidriado hermético (DVH), mejorando considerablemente la resistencia térmica de los vanos y reduciendo las pérdidas de calor y las ganancias indeseadas. Las envolventes exteriores —muros y cubierta— se tratan con colores claros, que aumentan el albedo superficial y reducen la absorción de radiación solar, minimizando el sobrecalentamiento de los paramentos en verano. Además, se prevé la ventilación de la cámara de aire del cielorraso, incorporando aberturas superiores que permiten evacuar el aire caliente acumulado bajo la chapa, uno de los principales problemas en este tipo de soluciones constructivas.

La incorporación de aleros con una proyección mínima de 50 cm sobre las fachadas más expuestas complementa el sistema de protección solar, bloqueando la radiación directa durante las horas de mayor intensidad sin interferir con el ingreso de luz difusa. Esta dimensión se definió en función de la latitud del sitio (27° S) y del ángulo solar crítico para los meses de verano, asegurando sombra completa en el horario de mayor asoleamiento y permitiendo la ganancia térmica pasiva en invierno. Estas estrategias, en conjunto, reducen significativamente la necesidad de climatización artificial, contribuyendo a mejorar la eficiencia energética del conjunto (ver figura 5).

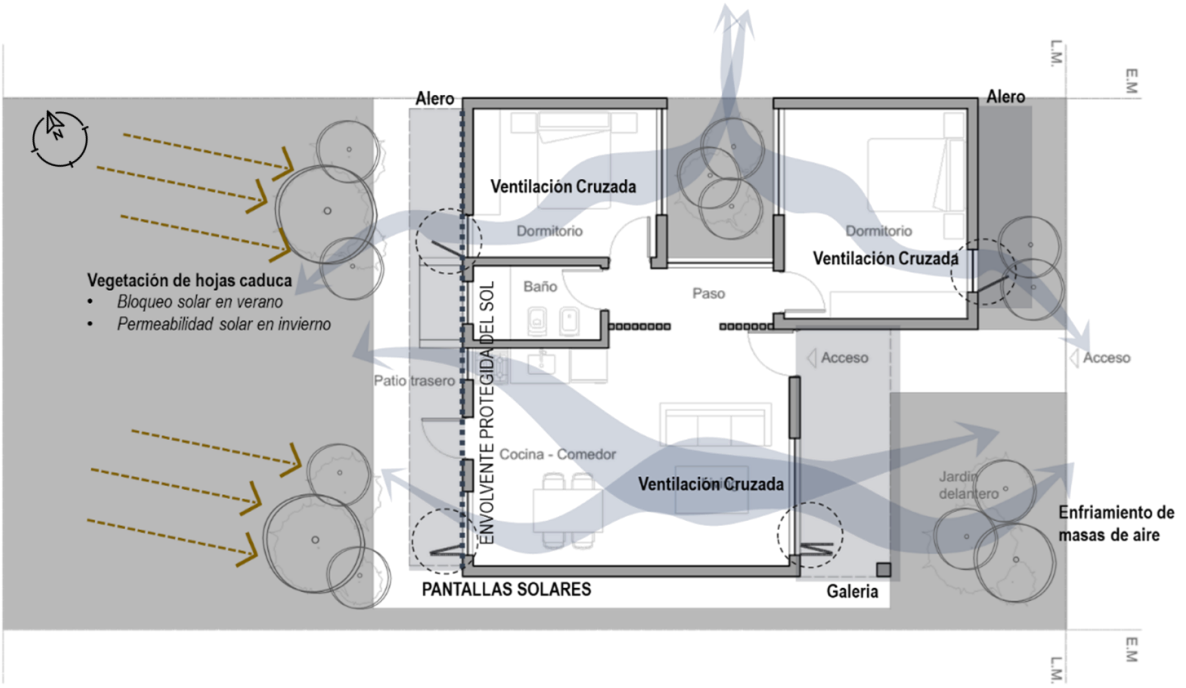


Figura 5: Esquema de Estrategias de Diseño Bioclimático del Prototipo Optimizado. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6: Detalle Arquitectónico 3D de La Propuesta de Prototipo Optimizado con Incorporación del Sistema de Generación de Energía Eléctrica a Partir de Energía Solar. Fuente: Elaboración Propia.

La propuesta identifica una oportunidad significativa en la incorporación de estrategias de diseño adaptativas que respondan a la orientación específica de cada vivienda dentro de la manzana. Al considerar las particularidades de la exposición solar y las condiciones climáticas locales, es posible optimizar el confort térmico durante todo el año. Las unidades con fachadas orientadas al sudeste pueden beneficiarse de soluciones proyectuales que gestionen adecuadamente la radiación solar intensa en verano y favorezcan las ganancias térmicas en invierno. Este enfoque promueve un modelo de sustentabilidad fundamentado en la contextualización bioclimática, integrando la orientación, el entorno inmediato y la variabilidad climática local en el proceso proyectual. De este modo, se potencia el desarrollo de un hábitat eficiente, saludable y equitativo, capaz de atender de manera precisa las necesidades particulares de sus habitantes y las características del lugar.

Posteriormente, se desarrolló una propuesta de incorporación de un sistema de generación de energía fotovoltaica conectado a red, que se ubica en la cubierta de la unidad funcional como se demuestra en la figura 6, cuya dimensión técnica fue definida a partir de simulaciones digitales del consumo estimado, en base a la documentación específica del objeto arquitectónico, el cual se detalla en la tabla 1.

Tabla 1: Estimación de consumo energético mensual del prototipo original implementado. Fuente: Elaboración Propia.

CONSUMO ENERGETICO PROTOTIPO ORIGINAL

Ambiente	Equipamiento estimado	Cant.	Potencia (W)	Hs/dia	Dias/mes	Consumo mensual (kWh)
Cocina-Comedor	Lámpara bajo mesada	1	15	4	30	1,8
	Lámpara colgante comedor	1	20	4	30	2,4
	Heladera (clase media)	1	200	24	30	144
	Ventilador de techo	1	80	10	30	24
	Aire acondicionado (verano)	1	1500	6	30	270
	Termotanque eléctrico (invierno)	1	1200	2	30	72
Dormitorio	Lámpara de techo	1	10	3	30	0,9
	Ventilador de techo	1	80	8	30	19,2
	Aire acondicionado frio-calor	1	1500	6	30	270
Baño	Lámpara	1	10	2	30	0,6
Lavadero	Lavarropas	1	500	1	15	7,5
General	Electrobomba	1	300	1	30	9
TOTAL VERANO						~600 kWh
TOTAL INVIERNO						~400 kWh

Los resultados de la simulación energética permiten identificar un perfil de consumo característico en las viviendas sociales del Nordeste argentino, con una marcada estacionalidad asociada al uso intensivo de equipos de refrigeración durante el verano. El aire acondicionado se consolida como el principal consumidor eléctrico, seguido por el uso continuo de la heladera y la electrobomba de agua, configurando una demanda significativa incluso en hogares considerados de bajo consumo. Este comportamiento evidencia que la eficiencia energética no depende únicamente de los artefactos, sino también de factores arquitectónicos estructurales —como la orientación, la ventilación, el aislamiento y las protecciones solares— que inciden directamente en la necesidad de recurrir a sistemas activos para alcanzar el confort térmico. La ausencia de estrategias pasivas de diseño y la tendencia a la expansión informal de las viviendas refuerzan esta dependencia, especialmente en contextos de infraestructura urbana limitada. En este marco, la integración de sistemas fotovoltaicos aparece no solo como una oportunidad técnica de mitigación ambiental, sino como una herramienta de justicia energética, capaz de reducir la vulnerabilidad económica de las familias y mejorar su autonomía. Este diagnóstico constituye, por tanto, la base para el dimensionamiento de sistemas solares, articulando datos de consumo, condiciones climáticas y hábitos de uso en una propuesta integral orientada a la eficiencia y la sustentabilidad del hábitat social.

Tabla 2: Estimación de consumo energético mensual del prototipo optimizado. Fuente: Elaboración Propia.

CONSUMO ENERGETICO PROTOTIPO ORIGINAL

Ambiente	Equipamiento estimado	Cant.	Potencia (W)	Hs/dia	Dias/mes	Consumo mensual (kWh)
Cocina-Comedor Living	Lámpara bajo mesada	1	15	4	30	1,8
	Lámpara colgante comedor	1	20	4	30	2,4
	Heladera (clase media)	1	200	24	30	144
	Ventilador de techo	1	80	10	30	24
	Aire acondicionado (verano)	1	1500	6	30	270
	Termotanque eléctrico (invierno)	1	1200	2	30	72
Dormitorio	Lámpara de techo	1	10	3	30	0,9
	Ventilador de techo	1	80	8	30	19,2
	Aire acondicionado frio-calor	1	1500	6	30	270
Baño	Lámpara	1	10	2	30	0,6
Lavadero	Lavarropas	1	500	1	15	7,5
General	Electrobomba	1	300	1	30	9
TOTAL VERANO						~600 kWh
TOTAL INVIERNO						~400 kWh

La simulación del consumo energético del prototipo optimizado permitió evaluar el impacto de las estrategias proyectuales aplicadas sobre la eficiencia de la vivienda. El análisis se realizó considerando el uso realista de artefactos domésticos esenciales distribuidos en los distintos ambientes, diferenciando el comportamiento estacional para verano e invierno, dado el carácter cálido-húmedo del clima del Nordeste argentino. Se contemplaron equipos básicos como heladera, iluminación LED, ventiladores, televisores, microondas, lavarropas, aire acondicionado, bomba de agua y pequeños electrodomésticos, además de una ampliación futura con un segundo equipo de refrigeración, en coherencia con la evolución progresiva de la vivienda social. Los resultados evidencian una reducción significativa del consumo eléctrico en comparación con el prototipo original, especialmente en los rubros de climatización e iluminación. Estas medidas permiten proyectar un consumo promedio de 350 kWh/mes en verano y 250 kWh/mes en invierno, valores sensiblemente inferiores a los de viviendas sin criterios bioclimáticos, los cuales se pueden observar en la tabla 2. Los resultados obtenidos constituyen la base técnica para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que permita compensar parte de la demanda y avanzar hacia una mayor autonomía energética del conjunto habitacional.

De la estimación del consumo se obtuvo un valor de consumo anual de 3850 kWh/año por unidad funcional, sobre esta base, se propuso un sistema que podría complementar el consumo eléctrico de manera sustentable, favoreciendo la transición energética a escala doméstica. El sistema diseñado consta de seis (6) módulos fotovoltaicos marca Jinko Solar, modelo Tiger Pro JKM545M-72HL, con una potencia unitaria de 545 Wp, alcanzando una potencia instalada total de 3,27 kWp. Los paneles se instalarán de forma coplanar sobre la cubierta inclinada de la vivienda, con una pendiente de 15° y orientación hacia el sureste. Los módulos se conectan en serie para conformar una única rama, dimensionada según los parámetros de voltaje y corriente del inversor GoodWe Technologies Co. Modelo GW3000D-NS, un equipo monofásico on-grid, apto para sistemas residenciales sin acumulación Además, se proyecta una segunda etapa de intervención, que contempla la incorporación de seis (6) módulos adicionales del mismo modelo (ver figura 7), duplicando la capacidad instalada hasta alcanzar 6,54 kWp, lo que permitiría lograr un nivel de autoabastecimiento cercano al 80%.

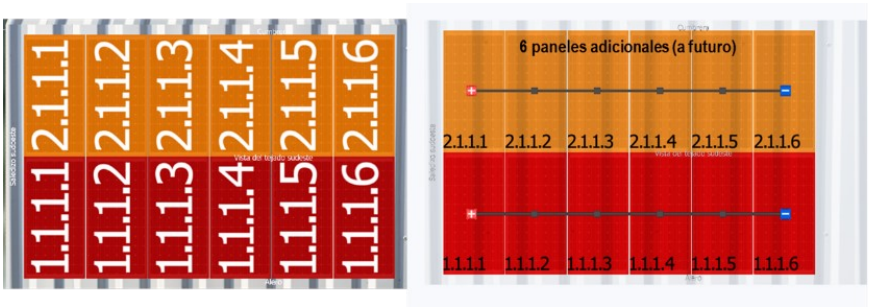


Figura 7: Esquema de Conexión Módulos Fotovoltaicos: Elaboración Propia a Partir de Simulación en Programa PVsol.

La simulación arrojó una producción anual estimada de 1.600 kWh, lo que representa una cobertura del 40% del consumo eléctrico total de la vivienda. Este porcentaje implica una reducción significativa de la energía demandada a la red pública, como puede observarse en la figura 8, con el consiguiente ahorro económico para el usuario, lo cual resulta particularmente relevante en contextos de vulnerabilidad energética, donde el acceso continuo y asequible a la energía constituye un factor clave para la calidad de vida.

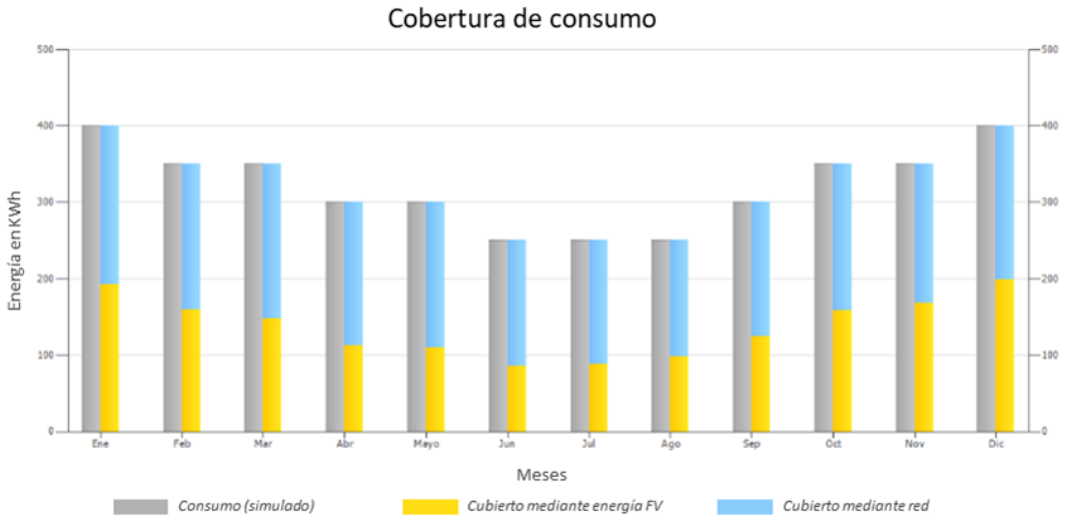


Figura 8: Esquema de Coberturas del Consumo Mediante Red Municipal y Energía Solar. Fuente: Elaboración Propia a Partir de Simulación en Programa PVsol.

Como se plantea en el marco teórico, la incorporación de sistemas de generación distribuida basados en fuentes renovables, especialmente en sectores residenciales con infraestructura eléctrica débil, no sólo contribuye a la eficiencia energética, sino que promueve una mayor equidad en el acceso a tecnologías limpias. En ese sentido, la propuesta busca no solo resolver aspectos técnicos, sino también democratizar el acceso a la energía solar fotovoltaica, integrando criterios de sostenibilidad ambiental, justicia energética y mejora de las condiciones habitacionales.

CONCLUSIONES

El presente proyecto se enmarca en la necesidad de optimizar los prototipos habitacionales estatales desde una perspectiva integral que articule eficiencia energética, diseño arquitectónico y compromiso ambiental. En este contexto, la vivienda social es reconocida como un dispositivo fundamental en la construcción del hábitat en el Nordeste Argentino, cuya relevancia trasciende la mera función habitacional para constituirse en un componente esencial del bienestar y la calidad de vida de sus habitantes. Por ello, resulta imperativo repensar estos modelos mediante lógicas proyectuales que sean sensibles y adaptativas a las particularidades del contexto climático, social y ambiental de la región. Este planteo condujo al análisis de un modelo constructivo vigente, que derivó en su reformulación

arquitectónica a partir de la incorporación de criterios de diseño bioclimático orientados a optimizar el confort térmico y la eficiencia energética de las viviendas. Paralelamente, se propuso la integración de un sistema solar fotovoltaico conectado a red como solución tecnológica que permite mejorar el desempeño energético de las unidades habitacionales sin que ello implique un incremento significativo en los costos, garantizando así la accesibilidad económica. El objetivo final de esta intervención es transformar la vivienda social de un espacio pasivo de consumo energético en un nodo activo y contribuyente dentro del sistema energético local, aportando así a la autonomía energética.

El proceso incluyó un análisis energético basado en simulaciones a partir del consumo estimado según los artefactos previstos en el pliego técnico, debido a la ausencia de datos de consumo reales por encontrarse el proyecto en etapa ejecutiva. El uso de herramientas digitales de modelado y simulación energética permitió eficientizar el proceso metodológico, al integrar en una misma instancia la representación espacial, la estimación de consumo y la evaluación comparativa de alternativas fotovoltaicas. De este modo, las simulaciones se consolidaron como un recurso de apoyo proyectual y de validación técnica en las etapas de diseño. Este estudio también aportó un análisis crítico sobre el abordaje vigente de las políticas públicas en materia habitacional, particularmente en lo referente a la dimensión energética y sustentable del hábitat, identificando áreas estratégicas de mejora tanto en la planificación urbana, el diseño proyectual de viviendas sociales y en el papel de la gestión institucional, con el fin de potenciar la eficacia y el impacto de dichas políticas.

REFERENCIAS

Cámara Argentina de la Construcción. (2016). *Vivienda social sostenible*. CAC, Buenos Aires.

CAMMESA. (2025). *Resumen anual 2024*. En Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. Recuperado de https://cammesaweb.cammesa.com [consulta: 6 de julio de 2025].

Gonzalo, G. E. (2015). *Manual de arquitectura bioclimática y sustentable*. Ediciones Sustentables, Buenos Aires.

Guy, S. & Farmer, G. (2001). Reinterpreting sustainable architecture: The place of technology. *Journal of Architectural Education*.

Instituto Provincial de Desarrollo Urbano y Vivienda (IPDUV). (s.f.). *Sitio web institucional*. En IPDUV. Recuperado de https://ipduv.chaco.gob.ar/ [consulta: 6 de julio de 2025].

Mejor Energía. (2025, 31 enero). *Las renovables cerraron el 2024 con nuevo récord y* esperan *condiciones para sostener el desarrollo*. En Mejor Energía. Recuperado de https://mejorenergia.com.ar [consulta: 6 de julio de 2025].

Michaux, C. M. (2023). *Metodología de evaluación diacrónica de la eficiencia energética en los procesos de ampliación residencial. Caso de estudio: viviendas IPV*. III Simposio Internacional de Doctorandos en Desarrollo Urbano Sustentable en Latinoamérica y el Caribe, Universidad Nacional de San Juan.

Pilar, C. A. (2023). *Intervenciones fotovoltaicas en barrios de viviendas* (1ª ed. adaptada). Ediciones del ITDAHu, Corrientes.

Secretaría de Energía. (2024). *Síntesis MEM – septiembre 2024*. En Gobierno de la República Argentina. Recuperado de https://argentina.gob.ar [consulta: 6 de julio de 2025].

Smith, A. & Stirling, A. (2018). Innovation, sustainability and democracy: An analysis of grassroots contributions. *Journal of Self-Governance and Management Economics*,

Vale, B. (2020). Architecture and resilience: Intersections between design, sustainability and social justice. En D. Chandler & J. Coaffee (Eds.), *The Routledge Handbook of International Resilience* (pp. 321–336). Routledge, Londres.

WeatherSpark. (2025). *Clima promedio en Resistencia, Chaco*. En WeatherSpark. Recuperado de https://es.weatherspark.com [consulta: 6 de julio de 2025].

OPTIMIZATION OF SOCIAL HOUSING IN NORTHEASTERN ARGENTINA: PASSIVE DESIGN AND PHOTOVOLTAIC GENERATION AS STRATEGIES FOR SUSTAINABLE HOUSING

ABSTRACT: This work presents a comprehensive intervention proposal for a social housing prototype under construction in the province of Chaco, Argentina, framed within the National Plan "Casa Propia – Construir Futuro." The research focuses on the energy analysis of social housing units in a state-built neighborhood and proposes their optimization through bioclimatic design strategies and the incorporation of solar photovoltaic generation systems. To this end, simulations of the electrical consumption of the unit were carried out, along with surveys of orientation and solar exposure, 3D modeling, and the technical sizing of a grid-connected photovoltaic system. The results demonstrate the impact of architectural redesign on reducing energy demand, as well as the technical feasibility of integrating distributed generation in social housing. Additionally, reflections are offered on housing sustainability from social, environmental, and territorial perspectives, considering both existing public policies and the need to involve users in the efficient use of resources. The proposal aims to contribute to the debate on new forms of inhabiting contexts characterized by energy vulnerability and urban expansion in the Northeast of Argentina (NEA), articulating design, energy, and the right to a dignified and sustainable habitat.

Keywords: social housing, photovoltaic solar energy, bioclimatic design, energy efficiency.

ASADES

Acta de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente
Vol. 12, pp 223-232 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

EVALUACIÓN TÉRMICA Y SOCIAL DE UNA COCINA SOLAR TIPO TANQUE

Victor García[1], Francisco Filippin[2], David Piza[1], Gustavo Gallo[1]
[1]Grupo de Energías Renovables – Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Catamarca
Maestro Quiroga 50 Catamarca
[2]Departamento de Física. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales., Universidad Nacional de Catamarca
Av. Belgrano 300 (4700), Catamarca, Argentina – Mendoza
Tel. 03834629731 e-mail: victorgarcia958@gmail.com

RESUMEN: En los últimos años se ha trabajado en el mejoramiento y difusión de las cocinas solares tipo tanque. Para una comprensión más completo de esta cocina se realizó un estudio para determinar y evaluar el desempeño térmico como trabajo práctico realizado por alumnos de la Facultad de Ciencias Exactas - UNCa, mediante la determinación experimental de la potencia de cocción, analizando su comportamiento bajo diferentes condiciones operativas y proponer mejoras. Y proponer la transferencia de tecnologías de cocción solar, aprovechando los altos niveles de irradiación en Laguna Blanca, Belén, realizando un taller de Cocina Regional Sustentable para dar a conocer los beneficios, potencialidades y funcionalidades que presenta la energía solar como alternativa para la cocción de alimentos, como así también, recuperar recetas, poner en valor la gastronomía y los productos de la región. Se describe la metodología utilizada, los resultados de una evaluación de la situación previa y los obtenidos durante los procesos de capacitación de los habitantes. Si bien no se consiguió el uso continuo de la cocina, la aceptación de la tecnología por la comunidad se refleja en la gestión de potenciales proyectos para incorporarla a nivel familiar

PALABRAS CLAVE: Evaluación, cocina, solar, tanque.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se describe la evaluación térmica de una cocina solar tipo tanque realizada por alumnos de la carrera de Técnico en Energías Renovables de la Facultad de Ciencias Exacta, y Naturales de la Universidad Nacional de Catamarca y un curso – taller de uso de cocinas solares tipo tanque y sus aplicaciones en la gastronomía tradicional para la posibilidad de realizar la transferencia de tecnología de cocción solar en el interior catamarqueño, Laguna Blanca, Belén. Se describe el esquema metodológico empleado, en la búsqueda de estrategias para introducir el uso de fuentes alternativas de energías en la población, es decir avanzar desde el ámbito tecnológico para la solución de problemas sociales.

En el noroeste argentino, especialmente en la región de puna, hay poblaciones cuyas posibilidades de acceso a fuentes de energía a costos razonables es muy bajo. En esta región se encuentra una parte del territorio catamarqueño, donde se encuentra el departamento Belén, entre otros, cuyo ambiente sufre un proceso de deterioro tal que la disponibilidad de la leña como combustible se reduce constantemente siendo actualmente escasa. Ante esta situación, el aprovechamiento de la abundante radiación solar como fuente de energía renovable aparece como una alternativa para ser utilizada en el empleo para la cocción de alimentos y mejorar el nivel de vida de los habitantes, siempre y cuando se realice un adecuado proceso de transferencia de tecnología

Al realizar una propuesta de transferencia tecnológica de cualquier tipo de dispositivo o metodología es necesario tener información actualizada con un diagnóstico del equipo, y la situación en la que se encuentran las comunidades, para asegurar el éxito del proceso del sistema a transferir. Para ello, es

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

importante que los beneficiarios conozcan desde su construcción, usen, operen y mantengan adecuadamente una tecnología para se produzca una apropiación de la misma.

Evaluación térmica de una cocina solar tipo tanque

Una de las formas de utilizar energía solar es mediante el uso de cocinas solares de tipo tanque que brindan una solución ecológica y económica para la cocción de alimentos, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y conservación del ambiente.

El principio de funcionamiento de una cocina solar tipo tanque se basa en la conversión de la energía solar en energía térmica para cocinar alimentos, la luz solar es capturada y concentrada en el interior de la misma creando un efecto de invernadero. Además, son particularmente valiosas en áreas con acceso limitado a combustibles tradicionales y alta radiación solar. Asimismo, su diseño simple y bajo costo las hacen accesibles para un amplio rango de usuarios, especialmente en regiones como la puna y prepuna de la provincia de Catamarca. Por último, la eficiencia de estas cocinas depende de varios parámetros como la calidad del aislamiento, la orientación hacia el sol, y la eficiencia en la captación de radiación solar.

Descripción cocina solar tipo tanque

La cocina solar tipo tanque, fue construida utilizando un tambor de 200 litros cortado por la mitad a lo largo de su eje, se le colocó una tapa con un marco de madera y un doble vidrio; en otro marco con las mismas medidas que la tapa y para mejorar la eficiencia, se puso una superficie de aluminio de buena reflectividad montada sobre dispositivos tipo bisagra que permiten girarla para orientarla hacia el sol. El semicilindro se apoya sobre una base para facilitar el movimiento de la cocina (Saravia et al., 2003). El interior, está formado por una placa galvanizada ondulada pintada de color negro mate, que tiene la función de constituir una doble pared de unos 0,05 m de espesor dentro de la cual se coloca lana de vidrio para disminuir las pérdidas de calor por conducción al exterior, además, sirve para apoyar en forma firme una chapa gruesa, sobre la cual se coloca la olla para favorecer su calentamiento. Las dimensiones de la cocina son de 0,60 m de diámetro y su longitud es de 0,90 m. La profundidad útil es de 0,20 m. (Figura 1).

Figura 1: Cocina solar tipo tanque.

Para evaluar y comparar el rendimiento de los modelos de cocinas solares de este tipo, se utilizan diferentes parámetros de rendimiento térmico, como la eficiencia y potencia térmica, tiempo de cocción, temperatura máxima alcanzada y uniformidad de la cocción Pranab J. et al. (2010) y N.L. Panwar et al. (2012). Este último considera dos parámetros de rendimiento térmico importantes para las cocinas solares de tipo caja, conocidos como figuras de mérito F1 y F2. Donde F1 tiene en cuenta la relación entre la eficiencia óptica de la cocina solar y las pérdidas de calor al exterior desde la placa absorbedora y F2 presenta la eficiencia en la transferencia de calor hacia el recipiente. Sunil Geddam et.al. (2015), se enfocan en el diseño de la cocina solar como uno de los parámetros importantes que influyen en su rendimiento térmico. Por lo tanto, para analizar el rendimiento térmico de una cocina solar, es necesario

conocer los parámetros de diseño, la eficiencia óptica y la capacidad calorífica de la cocina para proporcionar una base para la selección de materiales apropiados para su construcción.

Mohamad Aramesh et al., (2019) hicieron varios avances relevantes en la tecnología de cocinas solares. Algunos de los más destacados incluyen desarrollos de nuevos diseños, integración de almacenamiento térmico, mejoras en materiales y configuraciones y enfoque en la aceptación social y la viabilidad económica. A.A. El-Sebaii y A. Ibrahim, han investigado experimentalmente el rendimiento térmico de una cocina solar tipo caja. Para ello, calcularon el tiempo de ebullición, el tiempo específico (tiempo necesario para hervir 1 kg de agua usando una cocina solar de 1 m^2 de área de apertura), eficiencia, las dos figuras de mérito F1 y F2 y la potencia de cocción, a partir de los datos experimentales. La Red Iberoamericana de Cocción de Alimentos (RICSA) propone un procedimiento de ensayos de cocinas solares para el cálculo de la potencia de cocción mediante un método dinámico. En el mismo, se presentan las normas de ensayos para cocinas y hornos solares para su evaluación tanto térmica (Castell *et al.*, 1999a) como ergonómicos de seguridad, mantenimiento y calidad de materiales (Castell *et al.*, 1999b). F. Filippin et al., (2005) presentan un método para determinar la potencia en estado estacionario usando un dispositivo que tiene igual geometría y volumen que una olla convencional. Los resultados conseguidos con este método muestran algunas diferencias de los valores obtenidos con el método del protocolo de la RICSA.

Curso - taller: uso de cocinas solares tipo tanque y su aplicación en la gastronomía tradicional en Laguna Blanca Belén.
Fue organizado por la Secretaría de Extensión Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca y el Ministerio de Trabajo del Gobierno de la Provincia de Catamarca y la participación del Grupo de Energías Renovables de la Facultad de Ciencias Agrarias.

El Distrito Laguna Blanca, se encuentra ubicado 450 km hacia el Norte de la cabecera del departamento Belén, en la región oeste de la provincia. Está conformado por pampas de altura por arriba de los 3.200 m.s.n.m., separadas por cordones serranos, con ciénagas o vegas de altura y planicies surcadas por canales naturales donde circula agua proveniente de deshielo o vertientes. El Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022, reveló que la localidad de Laguna Blanca, cuenta con una población de 1001. (INDEC 2022). La mayoría de los habitantes son pastores de altura, aunque algunos recurren a la horticultura. El ganado de la zona está compuesto principalmente por vicuñas, llamas, cabras y ovejas, constituyendo su principal fuente de alimentación e ingreso por el aprovechamiento de la lana, cuero, carne y leche. En cuanto a los cultivos, pueden encontrarse especies forrajeras como la alfalfa, y distintas hortalizas como la papa, habas, maíz, cebollas, utilizadas habitualmente para autoconsumo y en algunos casos son comercializadas internamente en la población.

Las características semidesérticas de la zona hacen que la población ocupe gran parte de su tiempo en la extracción y recolección de leña para la cocción de alimentos y calefacción, tarea que es realizada generalmente por las mujeres y los niños.

En la actualidad por la mejora en las rutas de acceso a la población, pueden observarse en algunas de las viviendas la existencia de artefactos que funcionan con gas envasado, pero el costo de la provisión de este combustible es elevado para la capacidad adquisitiva de los habitantes que frecuentemente deben recurrir al uso de leña. (Díaz A., 2006).

Al realizar la propuesta de transferencia tecnológica de este y de cualquier tipo de dispositivo o metodología es necesario tener información actualizada con un diagnostico con prueba de campo en base de la situación en la que se encuentran las comunidades en cuestión para asegurar el éxito del proceso del sistema a transferir Para ello, es importante que las beneficiarios conozcan desde su construcción, usen, operen y mantengan adecuadamente una tecnología que ha sido construida lejos de su entorno, es decir que se produzca una apropiación de la misma. En este sentido, se planificó un curso taller con la inscripción previa de interesado en donde se mostró las diferentes partes de la cocina y como se construye.

MATERIALES Y MÉTODO

Para el curso taller realizado en Laguna Blanca, se construyó una serie de seis cocinas tipo tanque con el mismo principio descripto anteriormente (Figura 2.a), colocadas en el patio de la hostería del lugar, y aprovechando algunas sugerencias se realizó modificaciones; a.- A dos de las cocinas se colocó en el interior una división metálica en la mitad, de esta manera se separó en dos, esto hizo necesario que también se dividiera la tapa con el doble vidrio, esto permite cocinar diferentes comidas que necesitan distintos tiempos de cocción. (Figura 2.b), b.- a los efectos de facilitar el movimiento de la cocina, en dos de los soportes que se apoya del semicilindro se colocó ruedas pequeñas para facilitar el movimiento de la cocina. Los dos tirantes, paralelos al eje del cilindro cortado, permiten que el tanque gire alrededor de su eje cambiando la orientación del vidrio para acomodarlo al ángulo solar que varía a lo largo del año.

a *(b)*

Figura 2: Cocinas solares tipo tanque (a) sin división interior. (b) con división metálica interior y doble puerta

Sistemas de medición

Las mediciones de temperatura se realizaron mediante termopares de chromel - alumel, dada sus características de rápida respuesta, exactitud y bajo costo, conectados a un termómetro *Digital Meter Model 6801 II (ONE K-TYPE)*. Todos los termopares utilizados se protegieron de las temperaturas elevadas mediante una manga de fibra de vidrio. La irradiación se registró mediante un *Irradiance Meter Fluke IRR1-SOL*. La velocidad del viento se midió con un *Professional Wife Weather Station Model HP2550* a la altura de la cocina descripta.

Determinación de la Potencia de acuerdo al Protocolo con reorientación

Este ensayo ha sido realizado siguiendo las normas que indica el protocolo de la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSA). El mismo, abarca tanto la evaluación térmica como las características ergonómicas, de seguridad, de mantenimiento y de calidad de materiales. El propósito de la prueba es calcular la potencia de cocción efectiva (también llamada potencia media entregada) de la cocina solar y se basa en una prueba de calentamiento de agua hasta el punto de ebullición.

a) El ensayo comienza a las 10 horas.
b) Se coloca la olla en la cocina con una carga de 2,200 kg de agua ($C_{p,w} = 4.186$ J kg^{-1} $ºC^{-1}$) y se orienta la misma hacia el sol, colocando el reflector en la posición óptima para el mediodía solar.
c) Se reorienta la cocina cada 20 minutos.
d) Se registran la temperatura dentro de la olla con agua (T_w), la temperatura ambiente ($T_{a,ex}$) y irradiancia global sobre el plano de la cubierta de la cocina en intervalos de 20 minutos.
e) Se calcula la diferencia de temperatura entre la olla y el ambiente para cada intervalo.
f) El ensayo concluye al llegar la temperatura del agua al punto de ebullición.

La potencia de cocción se calculó como la diferencia de temperatura entre medidas sucesivas multiplicado por el calor específico del agua ($C_{p,w}$) y la masa de agua colocada (m), dividida por los 1200 segundos contenidos en los 20 minutos de intervalos:

$$q = m\ Cp,w\ (Tw,f - Tw,i) \quad (1)$$

Se graficó la curva de potencia encontrada en función de la diferencia de temperatura interior (Ta,in) y exterior (Ta,ex) para cada intervalo. Se utiliza la diferencia de temperatura en razón de que las pérdidas de calor se incrementan con la diferencia entre la temperatura interior de la cocina y su medioambiente inmediato. Además, una gráfica de la prueba de calentamiento de la masa de agua y la radiación solar incidente en función del tiempo.

RESULTADOS

El ensayo se realizó en agosto 2024, con día soleado y velocidad del viento alrededor a 2 ms^{-1}, la cocina tanque utilizada con un reflector se orienta (seguimiento solar) cada 20 minutos. En el interior de la cocina se puso una olla convencional, Figura 3. El ensayo consistió en determinar la potencia de la cocina en función de la diferencia de temperatura interior (Ta,in) y exterior (Ta,ex) para cada intervalo, siguiendo las sugerencias del protocolo de ensayos de cocinas RICSA. Se realizaron además ensayos para obtener una prueba de calentamiento de la masa de agua y la radiación solar incidente en función del tiempo.

Figura 3: Olla en el interior de la cocina

Durante la experiencia en el predio de la Universidad Nacional de Catamarca, entre las 10 hs y 14,20 hs del primer día de agosto se registraron, la temperatura, al inicio de la experiencia dentro de la olla con agua (Tw), fue de 26,7 °C alcanzando su máximo valor a las 12,40 hs de 97,8 °C para temperatura ambiente (Ta,ex), de 20,6 °C y 26,7, fue un día despejado con una irradiancia global sobre el plano de colección (IGn) máxima de 961 W/m^2 y una irradiancia global horizontal (GHI) de 720 W/m^2 al medio día solar, las mediciones fueron realizadas en intervalos de 20 minutos.

En la Figura 4, se muestra la curva de calentamiento para la olla en el interior de la cocina solar, la temperatura ambiente y radiación normal al plano de la cubierta de la cocina solar.

En el punto de inicio del ensayo la temperatura de masa de agua en el interior de la olla es 6 °C mayor a la temperatura ambiente y las pérdidas de calor son muy bajas. La curva presenta una zona de mayor pendiente al inicio del ensayo donde se produce el máximo calentamiento de la carga en la olla. Luego la temperatura progresa rápidamente hasta llegar al punto de ebullición (12:40 hora local), la pendiente

de la curva disminuye y se anula al alcanzar el punto de ebullición. En este periodo la masa de la olla alcanza una temperatura generalmente estable y la radiación solar que llega solo mantiene la pérdida de calor y no calienta la masa en la olla. El promedio de la radiación incidente al plano de la cubierta de vidrio fue de 958 Wm^{-2} durante el periodo de ebullición, mientras que el tiempo total para lograr el mismo fue de 160 minutos.

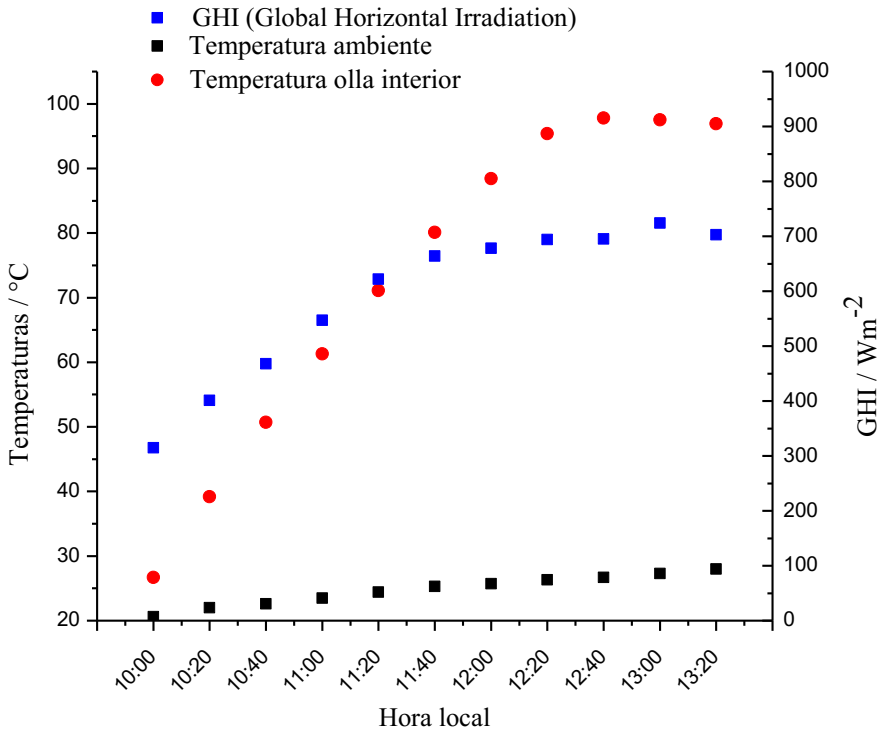


Figura 4: Curvas de calentamiento de olla interior, temperatura ambiente y radiación normal al plano de la cubierta durante el ensayo

En la Figura 5 se muestra la variación de la potencia absorbida en función de la diferencia de temperatura del agua en el interior del horno (Ta,in) y la del ambiente exterior (Ta,ex), evaluada según el protocolo RICSA. La máxima potencia absorbida por la olla fue de 96 W y la potencia estándar, definida a 50 °C de diferencia de temperatura interna y externa, muestra un valor de 57 W.

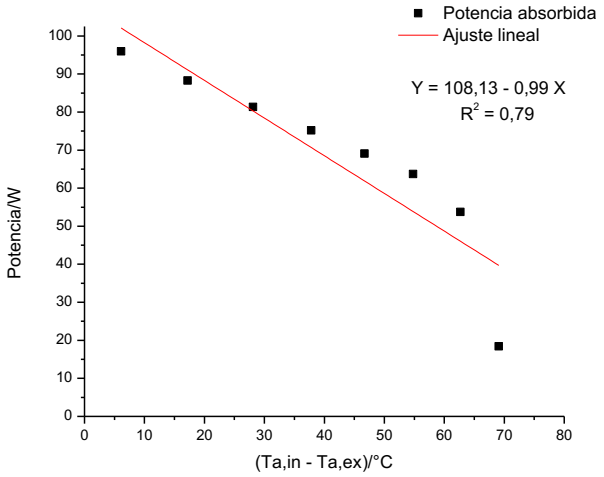


Figura 5: Ensayo de potencia calculada RICSA

En la figura además, se realizó una regresión lineal de los puntos graficados para encontrar la relación entre la potencia de la cocina (desde 0 a 100 W) y la diferencia de temperatura (de 0 a 70 °C). El

coeficiente de correlación (R^2) presentó un valor de 0,79. Esto se debe al bajo número de observaciones llevado a cabo durante el ensayo. El valor para la cocción estándar (W) correspondiente a una diferencia de temperatura de 50 °C, puede ser tomado como una medida simple de la performance. La razón es que este número facilita la comparación entre diferentes cocinas y esta diferencia de temperatura representa un punto crítico a partir de la cual la cocción inicia el proceso. Por ejemplo, Mohamad Aramesh et al. (2019), han reportado una potencia de cocción inicial de 103.5 W en una cocina solar familiar de tipo caja. Por otro lado, F. Filippin et al., (2005) han encontrado una potencia de cocción inicial de 113.2 W y una diferencia de temperatura de 50 °C interna/externa de 61W. Se destaca de esta última las similitudes del tipo de cocina caja ensayada en el presente trabajo práctico, tanto en el formato como en la geometría de la olla.

Curso taller de Cocina Regional Sustentable

En el curso taller, se buscó dar a conocer los beneficios, potencialidades y funcionalidades que presenta la energía solar como alternativa para la cocción de alimentos, con la recuperación de recetas, poner en valor nuestra gastronomía y los productos regionales. Se basó en una metodología de trabajo participativo con los 25 participantes.

EL curso taller tuvo una duración de 3 días, en jornada completa, 28 y 30 de mayo del 2025, se planificó en módulos de 6 hs para el primer día y 7 hs para los otros dos. Los últimos dos días se contó con la colaboración de dos chef del departamento Belén, conocedores de la gastronomía regional los que propusieron las recetas para cocinar, las cocinas se colocaron en zona sin posibilidad de sombreado desde las 9.00 hs. En todo momento, los participantes formaron parte de las actividades para volver a la experiencia mucho más enriquecedora para los mismos.

En el primer día se propuso a los participantes conocer las cocinas solares, los diferentes modelos. Se mostró cada material a utilizar en la construcción de una cocina caja, y como se van acoplando uno por uno hasta su construcción final, se explicó los principios de su funcionamiento, cuidados y mantenimiento de la cocina, tiempos de cocción. Este módulo se llevó a cabo en el exterior como se muestra en la Figura 6.

Figura 6: Participantes del taller

Figura 7: Grupos preparando la comida

En el segundo día del taller se inició con la pregunta ¿Qué podemos preparar en la cocina solar? Tiempos de cocción. Diferentes preparaciones aptas para la cocina solar. Cocción y preparación de vegetales. Cocción y preparación de carnes rojas y blancas. Valores Nutricionales de las preparaciones. Práctica con la cocina. Elaboración de recetas sumando productos de la región. Este módulo estuvo a cargo del Chef Julio Roldan quien propuso las comidas a realizar, también se organizó a los participante en grupo para ser guiado por el chef a realizar la preparación y luego colocar en la cocina solar, Figura 7.

El tercer día a cargo del segundo chef Maximiliano Moreno, continuó con la preparación de recetas clásicas y tradicionales con ingredientes locales (papa andina, carne de llama, etc.), y la puesta en valor de la cultura gastronómica ancestral. Las cocinas se pusieron en el patio de la hostería a las 9 hs con una temperatura ambiente de 19 °C

En la siguiente tabla se muestran las comidas realizadas durante el segundo y tercer día propuestas por los chefs por los participantes del taller.

Tabla 1: Comidas en las cocinas solares tipo tanque, simple y doble cavidad, tiempo de cocción y temperatura interior de cocina.

Días	**COCINA SIMPLE CAVIDAD**	**TIEMPO DE COCCION Y TEMPERATURA**	**COCINA DOBLE CAVIDAD**	**TIEMPO DE COCCION Y TEMPERATURA**
Segundo día Chef Julio Roldan	**Genoise (pastel) de algarroba.** 12 porciones/18 degustación**.**	Tiempo de cocción 45 min, temperatura que alcanzo la cocina en su interior fue de 94 °C	**Lomo de llama con papines andinos Timbal de quínoa** 15 porciones/18 degustación	Tiempo de cocción fue de 2,30 hs Temperatura interior de cocina 95° C
Tercer día chef Maximiliano Moreno	**Arrollado de carne de llama y quínoa** 15 porciones	Tiempo de cocción 3,30 hs, temperatura que alcanzo la cocina en su interior fue de 97 °C	**Mil hojas de papines andinos y choclo** 20 porciones	Tiempo de cocción 3,00 hs, temperatura que alcanzo la cocina en su interior fue de 97 °C

Como guía cada participante tuvo su recetario y materiales para preparar la comida.

Durante los días en que se realizó la práctica de cocinas regionales los chef enseñaron a las/los participantes diferentes maneras de preparar la mesa y presentación de la comida a los comensales. Figura 8.

Figura 8: presentación de las mesas con los participantes del taller.

CONCLUSIONES

Las medidas realizadas muestran que el método de ensayo es factible de ser llevado a cabo y la metodología utilizada ha mostrado ser de uso sencillo. La potencia absorbida de cocción es un parámetro clave para evaluar su rendimiento térmico y su capacidad para cocinar alimentos, donde los valores encontrados están en el orden de la bibliografía analizada. Para su cálculo, se consideró la masa del fluido, su calor específico y el cambio de temperatura que experimenta a lo largo del tiempo. Se plantea como mejora las modificaciones en el diseño, como la adición de reflector o la optimización de su posición, esto aumentaría significativamente la radiación solar concentrada, lo que se traduce en una mayor energía absorbida y, por ende, mayor potencia de cocción. Las cocinas solares son generalmente más lentas en el proceso de cocción en comparación con los métodos convencionales.

Como desafío en la potencia de cocción se puede plantear la necesidad de seguimiento solar para maximizar la potencia absorbida, pero puede ser costosa o laboriosa. Además, la comparación de la potencia de cocción entre diferentes diseños de cocinas puede ser compleja debido a la falta de procedimientos de prueba y parámetros de rendimiento uniformes entre los ensayos realizados en otros grupos de trabajo.

En resumen, aunque la potencia absorbida de cocción varía significativamente entre los tipos y diseños de cocinas solares, y es afectada por múltiples factores, los avances recientes se han centrado en maximizar esta potencia a través de innovaciones en el diseño y la integración de componentes adicionales para hacer la cocción solar más eficiente y práctica.

Con respecto al curso taller realizado en Laguna Blanca, las experiencias realizadas por el grupo de investigación han permitido analizar la problemática y aplicar una metodología de transferencia de tecnología que refleje una visión de la situación actual del uso de los recursos y cómo insertar la cocina solar tanque que permita disminuir el uso de la leña, según lo manifestado por los participantes.

Teniendo en cuenta que uno de los procesos más complicado para transferir una tecnología es el cambio en los hábitos de la gente, la realización de cursos talleres de transferencia contribuye a que una parte importante de la población conozca, acepte la tecnología solar y pueda considerarla una alternativa energética y que es posible la sustitución parcial de la energías convencionales con energía solar para mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales.

La falta de leña y la alta heliofanía de la zona de Laguna Blanca, favorecen la posibilidad de uso de cocinas solares, con lo que se consigue disminuir el consumo de leña, ahorrando tiempo en la recolección o dinero en la compra de la misma.

Teniendo en cuenta los resultados de la experiencia es necesario diseñar nuevos desafíos para que las comunidades que requieran estos tipos de equipos solares reciban una transferencia directa a nivel familiar, como fue planteado mientras se hacia la práctica.

NOMENCLATURA

F1: relación entre la eficiencia óptica de la cocina solar y las pérdidas de calor al exterior desde la placa absorbedora.
F2: eficiencia en la transferencia de calor hacia el recipiente.
RICSA: Red Iberoamericana de Cocción de Alimentos.
Cp,w: capacidad calorífica del agua (4.186 J kg^{-1} $ºC^{-1}$).
Tw: temperatura dentro de la olla con agua. (°C)
Ta,ex: temperatura ambiente. (°C)
Ta,in: temperatura interior. (°C)
m: masa de agua. (kg)
q: potencia de cocción. (W)
IGn: irradiancia global sobre el plano de colección.
GHI: global horizontal irradiation.

REFERENCIAS

Castel M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Vasquez L., Esteves A. (1999a). Propuestas de procedimiento para la evaluación del comportamiento térmico de cocinas y hornos solares. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, Nº 2, pp.08-129-132.

Castel M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Vasquez L., Esteves A. (1999b). Propuestas de procedimiento para la evaluación de las características físicas, ergonómicas, de seguridad, de calidad de materiales y de mantenimiento de cocinas y hornos solares. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, Nº 2, pp.08-133-136.

Díaz A. (2006). Etnografía para la arqueología, Informe de Beca de Perfeccionamiento del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

El-Sebaii A.A., Ibrahim A.. (2005) Experimental testing of a box-type solar cooker using the standard procedure of cooking power. Renewable Energy 30 1861–1871

Filippin F., A Iriarte., Saravia L. (*2005). Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184*Método auxiliar para la determinación de potencia de una cocina solar tipo caja. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 9,*

Hobbs,D. (2003) , Solar drum oven, *www.barefootengineering.com*

Indec: Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022.

Mohamad Aramesh, Mehdi Ghalebani, Alibakhsh Kasaeian, Hosein Zamani, Giulio Lorenzini, Omid Mahian, Somcha Wongwises. (2019) A review of recent advances in solar cooking technology. Renewable Energy 140

N Panwar.L., Kaushik S.C., Surendra Kothari. (2012) State of the art of solar cooking: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 3776– 3785

Pranab J. Lahkar, S.K. Samdarshi. (2010) A review of the thermal performance parameters of box type solar cookers and identification of their correlations. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 1615–1621

Quiroga Mirta (2004). Simulación de Cocina Solar Tipo Caja. Tesis Maestría en Energías Renovables. Universidad Nacional de Salta.

Saravia L., Caso R., Fernández C. (2003). Cocina solar de construcción sencilla. Avances en Energías Renovables y Medio. Ambiente, Vol. 7, Nº 1, pp.03-13-17.

Sunil Geddam, G. Kumaravel Dinesh, Thirugnanasambandam Sivasankar. (2015) Determination of thermal performance of a box type solar cooker. Solar Energy 113 324–331

THERMAL AND SOCIAL EVALUATION OF A TANK-TYPE SOLAR KITCHEN

ABSTRACT. In recent years, work has been done to improve and disseminate tank-type solar kitchens. To gain a more complete understanding of this stove, a study was conducted to determine and evaluate thermal performance as a practical project by students from the Faculty of Exact Sciences - UNCa. This study included experimentally determining kitchens power, analyzing its behavior under different operating conditions, and proposing improvements. The transfer of solar kitchens technologies was also proposed, taking advantage of the high levels of irradiation in Laguna Blanca, Belén. A Sustainable Regional C Kitchens workshop was held to showcase the benefits, potential, and functionalities of solar energy as an alternative for kitchens food. This workshop also included a recipe recovery program, highlighting the region's gastronomy and products. The methodology used, the results of a previous evaluation of the situation, and the results obtained during the training process for residents are described. Although continued use of the stove was not achieved, the community's acceptance of the technology is reflected in the development of potential projects to incorporate it at the household level.

Keywords: Evaluation, Stove, Solar, Tank

ASADES

Acta de la XLVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente
Vol. 12, pp 233-245 2025 ISBN 978-987-29873-1-2

PAISAJE Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA: METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN EN PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES. EL CASO DEL PARQUE EÓLICO CORTI, BAHÍA BLANCA, ARGENTINA

Karina Jensen[1], Daiana Beretta[1], Florencia Arias[1], María Paz Nader[1], Leandro Varela[1]
[1]Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido. Universidad Nacional de La Plata (IIPAC-CONICET-UNLP) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. - Correo electrónico: karinajensen@iipac.laplata-conicet.gov.ar

RESUMEN: Este trabajo presenta y valida una metodología para integrar la valoración paisajística en la planificación de proyectos de energías renovables a partir de su aplicación en el parque eólico Corti (Bahía Blanca, Argentina). La metodología combina la delimitación de unidades de paisaje con la construcción de matrices de calidad e impacto visual, incorporando criterios territoriales, ecológicos y socioculturales. Los resultados muestran que el parque presenta un nivel de compatibilidad paisajística intermedio, con impactos localizados en áreas de alta sensibilidad visual y cultural. El análisis evidencia la necesidad de complementar los estudios de impacto ambiental tradicionales con evaluaciones paisajísticas específicas, capaces de captar percepciones sociales y valores patrimoniales del territorio. Asimismo, la comparación con experiencias internacionales sugiere la importancia de adaptar los marcos normativos locales para incorporar la dimensión paisajística en la transición energética. En conclusión, la metodología probada en el caso Corti demuestra su potencial como herramienta de gestión y aporta insumos concretos para fortalecer la integración entre energías renovables y paisaje en Argentina.

Palabras clave: paisaje, transición energética, metodología, energías renovables.

INTRODUCCIÓN

En el marco del avance de las políticas de transición energética en Argentina, los instrumentos técnicos para la evaluación ambiental evidencian un vacío conceptual significativo: el paisaje continúa siendo excluido como dimensión prioritaria de análisis. La Guía para la elaboración de EsIA (2019), por ejemplo, enfatiza la factibilidad técnica, económica y geológica de los proyectos, pero omite la incorporación sistemática de variables perceptuales, simbólicas o culturales en sus matrices y protocolos. Esta omisión limita la comprensión de los conflictos territoriales, invisibiliza las afectaciones sobre la calidad visual y la apropiación identitaria, y restringe la formulación de estrategias de mitigación coherentes con la experiencia cotidiana de los habitantes.

La investigación realizada demuestra que el paisaje, concebido como una construcción dinámica resultante de la interacción entre factores naturales, humanos y simbólicos, constituye una dimensión crítica para evaluar la inserción de infraestructuras energéticas. Su consideración permite identificar de manera más precisa los impactos en la calidad visual, la percepción comunitaria y el sentido de lugar. La ausencia de valoración paisajística, lejos de implicar ausencia de impactos, revela una falla metodológica que impide reconocerlos y gestionarlos de forma integral y situada.

La aplicación de la metodología propuesta en el parque eólico Corti confirmó la relevancia de incorporar el paisaje como dimensión evaluativa central. El análisis de unidades de paisaje y de criterios perceptivos permitió detectar impactos diferenciales: desde áreas de alta compatibilidad hasta sectores con elevada sensibilidad cultural y visual. Estos resultados muestran que la integración de la valoración paisajística

Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

en la evaluación ambiental no solo es operativa, sino también necesaria para articular de manera equilibrada desarrollo energético y preservación de valores estéticos, culturales y ecológicos en contextos rurales y periurbanos

HACIA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ARGENTINA

La producción y el uso de energía representan cerca del 75 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Climate Watch, 2022), situando al sector energético en el centro de los esfuerzos de mitigación climática. La reducción de estas emisiones es clave en compromisos internacionales como el Acuerdo de París y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Sabbatella, 2023; Acevedo, 2024). A ello se suman las dificultades asociadas al agotamiento de recursos fósiles, el creciente esfuerzo energético para su extracción y la volatilidad de precios, lo que cuestiona su viabilidad y favorece la transición hacia fuentes renovables.
La transición energética implica una transformación estructural de los sistemas energéticos, que abarca cambios en las fuentes, la producción, la distribución, el consumo y la disposición final de materiales (FARN, 2024). Este proceso resulta de transformaciones tecnológicas, económicas y decisiones políticas orientadas a modificar la provisión y el uso de energía en el largo plazo.

En Argentina, los compromisos internacionales y la necesidad de superar un modelo fósil-dependiente, centralizado y no renovable impulsan políticas para el desarrollo de energías limpias. Destaca la Ley n.º 27.191/15, que establece metas para incrementar su participación en la matriz energética mediante un régimen de promoción que incluye energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, biomasa, biogás y pequeñas hidroeléctricas (SAyDS, 2019). Actualmente, la eólica y la solar fotovoltaica (Figura 1) lideran la generación renovable, con amplia distribución territorial y menor pérdida energética (Kazimierski, 2019). Los parques eólicos predominan en Patagonia y Pampa, mientras que los solares se concentran en el Noroeste y Cuyo (Porcelli y Martínez, 2018).

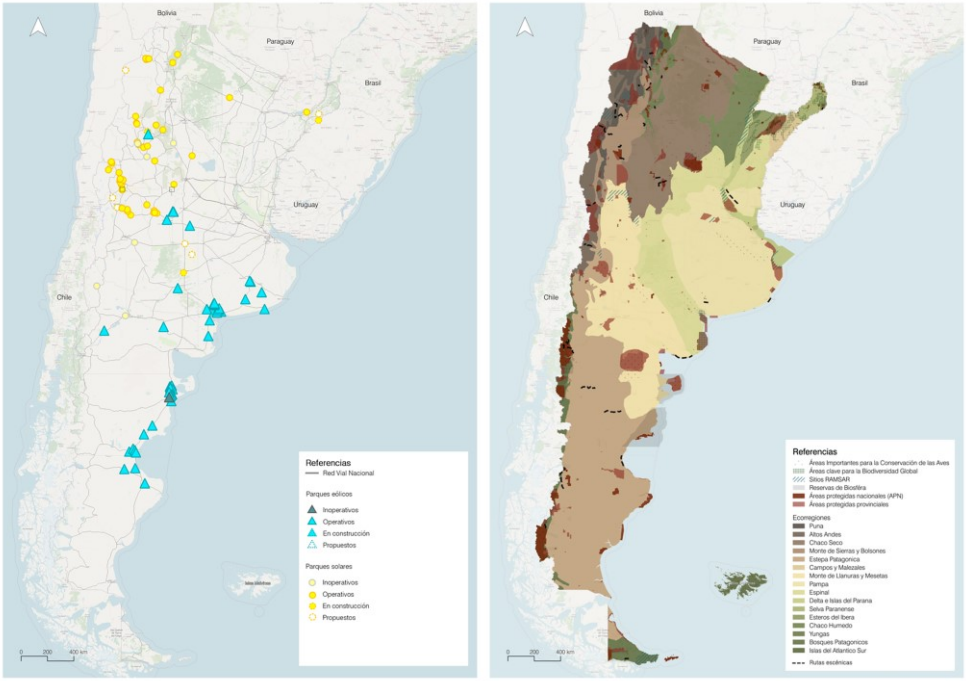


Figura 1: Parques solares y parques eólicos en Argentina (izquierda). Figura 2: Áreas de interés paisajístico (derecha). Fuente: Elaboración propia, 2025.

IMPACTO AMBIENTAL DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

La expansión de grandes instalaciones para generar nueva potencia eléctrica renovable plantea interrogantes sobre su impacto ambiental. La Guía para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (2019) lo define como toda modificación significativa, positiva o negativa, sobre el ambiente y/o la calidad de vida de la población. Según Estruch García (1992), estos efectos pueden alterar la estructura o función de uno o varios componentes ambientales.

La construcción y operación de parques eólicos o plantas fotovoltaicas, que ocupan amplias superficies, generan tensiones o complementariedades con actividades preexistentes. Al localizarse en áreas de alta exposición visual, pueden romper la imagen del paisaje, alterar el relieve y transformar la experiencia cotidiana de las comunidades. Además, producen impactos sobre el suelo y su uso, contaminación lumínica y sonora, y pérdida de biodiversidad por reducción de hábitat en áreas críticas y de interés paisajístico (Figura 2).

La implantación de energías renovables implica, por tanto, una transformación material y simbólica del paisaje. La infraestructura introduce elementos artificiales, móviles y contrastantes que modifican el horizonte cotidiano, generando tensiones entre la lógica técnica del desarrollo y la conservación del valor identitario de los territorios. No obstante, su integración puede favorecer procesos de resignificación y apropiación si se realiza de manera participativa y sensible a los paisajes locales.
En Argentina, si bien la Ley 27.191 promueve el desarrollo de energías renovables, la guía oficial de Evaluación de Impacto Ambiental (2019) no incorpora el paisaje como variable clave. Esto representa una oportunidad para incluirlo tempranamente en el diseño y evaluación de proyectos (SAyDS, 2019).

PAISAJE E INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS

En el marco de la transición energética, el paisaje, concebido como construcción dinámica de elementos naturales, humanos y simbólicos, se transforma con cada intervención, generando respuestas diversas en las comunidades. No se limita a lo físico: es expresión perceptiva y simbólica de la interacción entre naturaleza y cultura, mutable y dependiente del contexto histórico y territorial. Según el Convenio Europeo del Paisaje (2000), es cualquier parte del territorio percibida por la población; para Nogué y Sala (2008), es continente y contenido, realidad física y ficción cultural. Su análisis exige considerar tanto lo externo y objetivo como lo interno y experiencial.

El término se emplea en múltiples disciplinas, siempre como imagen externa y experiencia sensible. De una visión elitista se ha evolucionado hacia otra más democrática, que reconoce también los paisajes cotidianos o degradados por su capacidad de generar pertenencia y bienestar. Para Moya Pellitero (2011), la percepción no es sólo visual, sino experiencia cultural mediada por memoria y afectividad. Así, la calidad paisajística no se mide únicamente con indicadores técnicos, sino atendiendo a la sensibilidad y al vínculo comunitario con el territorio.

Conceptos como fragilidad e impacto permiten valorar cómo las infraestructuras de energías renovables alteran la integridad perceptual. Sin embargo, en Argentina los marcos normativos reducen su evaluación a variables físico-ambientales, omitiendo dimensiones simbólicas y sensibles. En contraste, el Convenio Europeo del Paisaje promueve la incorporación de criterios paisajísticos en sectores productivos y de movilidad, mientras que la Estrategia Territorial de la Comunidad Valenciana busca preservar la singularidad y justificar excepciones sólo en función del respeto al carácter identitario.

La falta de valoración no implica ausencia de impactos, sino una carencia metodológica. Las estrategias tradicionales de integración paisajística, tecnificadas, proteccionistas o estetizadas, resultan insuficientes para abordar la percepción visual, la huella espacial y la compatibilidad territorial, ya que tienden a simplificar la complejidad de los paisajes (Cueto & Pulido, 2023). Incorporar el paisaje en la evaluación ambiental permite comprender las transformaciones de modo inclusivo y sensible. El

enfoque aquí propuesto, basado en unidades de paisaje, sensibilidad visual y percepción comunitaria, busca articular transición energética y valoración paisajística. De este modo, el paisaje puede analizarse tanto cualitativamente, desde experiencias y contextos culturales, como cuantitativamente, mediante datos y matrices que faciliten marcos normativos y regulaciones territoriales.

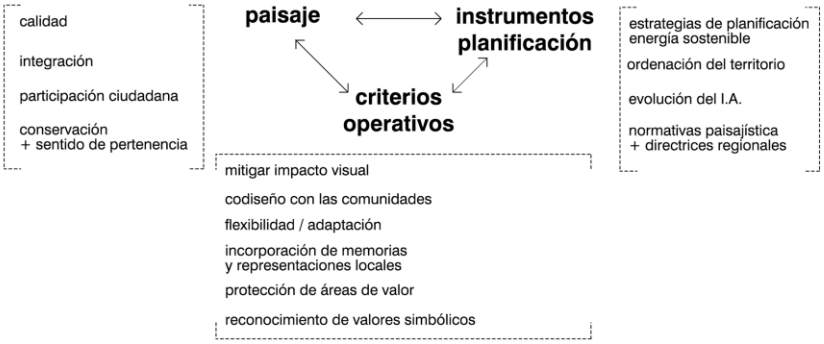


Figura 3: Paisaje, instrumentos y criterios. Fuente: Elaboración propia, 2025.

METODOLOGÍA

El análisis del paisaje en proyectos de energías renovables exige herramientas capaces de captar su complejidad territorial, ecológica y simbólica. En este trabajo se aplicó una metodología que articula la delimitación de unidades de paisaje con la construcción de matrices de valoración, orientadas tanto a la calidad como al impacto paisajístico. Esta combinación permitió integrar criterios perceptuales, ecológicos y culturales en la evaluación, superando enfoques meramente técnicos o estéticos.

La unidad de paisaje se definió como una porción del territorio con coherencia interna, caracterizada por atributos físicos, simbólicos y perceptuales que configuran su identidad. Su delimitación se realizó a partir de una lectura multiescalar y situada, reconociendo la diversidad de valores y significados atribuidos por los actores sociales. En el caso estudiado, las unidades se estructuraron tomando como referencia las ecorregiones argentinas e identificando áreas con características compartidas.

Las matrices de valoración sistematizaron los efectos del parque eólico sobre cada unidad de paisaje, tanto en términos de calidad como de impacto. Para ello, se consideraron variables como fragilidad, calidad visual, exposición, grado de transformación y carga simbólica. Esta herramienta permitió identificar contrastes entre áreas de alta compatibilidad y sectores de mayor sensibilidad, orientando la evaluación hacia modelos de planificación más atentos al paisaje y a las identidades locales.

La recolección de datos combinó revisión documental y cartográfica con trabajo de campo, mediante el cual se relevaron atributos biofísicos, simbólicos y visuales. El análisis integró la clasificación y delimitación de unidades a través de SIG, la aplicación de matrices para evaluar calidad, fragilidad e impacto, y la ponderación de variables con el fin de obtener valores comparables. Finalmente, la interpretación se apoyó en una lectura multiescalar y situada, que permitió construir escenarios, elaborar diagnósticos territoriales y representar los resultados en mapas, diagramas y narrativas.

CARACTERIZACIÓN DEL PAISAJE

La caracterización del paisaje se realizó a partir de cuatro dimensiones analíticas: evolución temporal, organización espacial, valores perceptivos y simbólicos, y conflictos territoriales. Esta lectura integral permitió identificar dinámicas, singularidades y tensiones propias del área de estudio, constituyendo la base para una zonificación estratégica que articula sensibilidad paisajística y planificación energética.

MATRIZ DE CALIDAD PAISAJÍSTICA

La aplicación de la matriz de calidad permitió evaluar cada unidad de paisaje en función de atributos geográfico-urbanísticos, biofísicos, estructurales y estéticos. Se consideraron variables como accesibilidad, tipo de entorno, diversidad vegetal, grado de antropización y percepción visual. Esta evaluación posibilitó estimar el valor paisajístico de cada unidad y orientar la identificación de aquellas con mayor potencial de integración territorial frente a la instalación de infraestructura energética.

MATRIZ DE FRAGILIDAD PAISAJÍSTICA

La matriz de fragilidad identificó la susceptibilidad diferencial de las unidades de paisaje frente a las intervenciones, integrando criterios de sensibilidad visual, valor simbólico, vulnerabilidad ecológica y riesgo de transformación. Asimismo, permitió analizar los impactos generados por el parque eólico en tres dimensiones: perceptual, simbólica-cultural y estructural. Esta lectura doble facilitó la detección de fragilidades acumuladas y la definición de estrategias de mitigación, conservación y resignificación con enfoque territorial.

EVALUACIÓN DE IMPACTO PAISAJÍSTICO

El análisis de impacto paisajístico evidenció los efectos de la infraestructura sobre el territorio en tres dimensiones complementarias: perceptual, simbólica-cultural y estructural. Se evaluó cómo la instalación de los aerogeneradores modificó la experiencia visual (calidad, visibilidad, coherencia), cómo incidió en los significados y prácticas sociales vinculadas al lugar y qué transformaciones físicas y funcionales se produjeron en la configuración del paisaje. Esta aproximación integral permitió reconocer tensiones específicas y orientar lineamientos de diseño y conservación adaptados a las condiciones locales.

VALORACIÓN INTEGRAL

A partir de los indicadores obtenidos en las matrices de calidad, fragilidad e impacto, se construyó una síntesis evaluativa mediante un sistema de puntaje de 1 a 3. En la matriz de calidad, el valor 3 representó mayor calidad y el valor 1 baja; en la de fragilidad, el 3 indicó alta fragilidad y el valor 1 baja; mientras que en la de impacto, el 3 correspondió a mayor impacto y el 1 a menor. Esta escala fue representada mediante un código semafórico: en calidad, verde para 3, amarillo para 2 y rojo para 1; en fragilidad e impacto, la lógica se invirtió, asignando rojo al 3, amarillo al 2 y verde al 1, reflejando niveles de alerta. La valoración integral (VI) se obtiene sumando los valores finales de calidad (C) y fragilidad (F), y multiplicando ese resultado por el valor de impacto (I), según la Ec. 1: VI = (C + F) × I.

$$VI = (C + F) * I \quad (1)$$

donde:

C = valor final de calidad.
F = fragilidad.
I = impacto.

El resultado se traduce en criterios operativos (CO) que orientan las estrategias de adaptación y mitigación, clasificadas en tres niveles:

- CO A (intervención compatible): VI baja (0 a 4 puntos). Indica que el proyecto puede integrarse sin generar afectaciones significativas al paisaje. Se recomienda avanzar con el diseño propuesto, incorporando buenas prácticas de integración visual.
- CO B (intervención condicionada): VI media (5 a 12 puntos). Requiere ajustes de diseño, medidas de mitigación y seguimiento participativo. Se sugiere incorporar estrategias de camuflaje, restauración visual, compensación simbólica y monitoreo territorial.
- CO C (intervención crítica): VI alta (13 a 18 puntos). Presenta alta incompatibilidad paisajística; se recomienda reformulación, suspensión o compensación del impacto.

Tabla 1: Valoración Integral del Paisaje. Fuente: Elaboración propia, 2025.

VALORACIÓN INTEGRAL			
Matriz	Categorías De Valoración	Valores y Código Semafórico	Valores Finales
Calidad paisajística (C)	ALTA/MEDIA/BAJA	(3) VERDE (2) AMARILLO (1) ROJO	30-50 PUNTOS: 1 51-70 PUNTOS: 2 71-90 PUNTOS: 3
Fragilidad paisajística (F)	ALTA/MEDIA/BAJA	(3) ROJO (2) AMARILLO (1) VERDE	29-36 PUNTOS: 3 21-28 PUNTOS: 3 12-20 PUNTOS: 1
Evaluación de impacto paisajístico (I)	ALTA/MEDIA/BAJA	(3) ROJO (2) AMARILLO (1) VERDE	29-36 PUNTOS: 3 21-28 PUNTOS: 2 12-20 PUNTOS: 1
Total valoración	(C)+(F)=Yx(I)=(VI)	ALTA: 13-18 PUNTOS MEDIA: 5-12 PUNTOS BAJA: 0-4 PUNTOS	Criterios Operativos (CO) C Criterios Operativos (CO) B Criterios Operativos (CO) A

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN SEGÚN CRITERIOS OPERATIVOS Y ESTADO DEL PROYECTO

La *valoración integral* (VI) obtenida en cada caso se traduce en un *criterio operativo* (CO) que orienta las estrategias de intervención territorial. Estos criterios permiten definir acciones diferenciadas según el grado de compatibilidad paisajística del proyecto (A, B o C), su estado de desarrollo (propuesto, en construcción, operativo o inoperativo; ver Figura 2) y los componentes evaluados: *calidad*, *fragilidad* e *impacto.* Estas estrategias pretenden ser medios de vinculación con instrumentos de planificación territorial y energética, promoviendo una transición justa y sensible.

CO A (Intervención compatible) - VI baja (0-4 puntos)

En casos de intervención compatible (CO A, VI baja), el proyecto presenta alta compatibilidad paisajística, por lo que las estrategias se orientan a consolidar la integración territorial y preservar la calidad visual y simbólica del entorno. En proyectos propuestos o en construcción, se prioriza la incorporación de criterios paisajísticos desde el diseño inicial, la evaluación de zonas sensibles y el co-diseño con comunidades locales. En proyectos operativos o inoperativos, donde las posibilidades de adaptación son más limitadas, se aplican estrategias de mitigación leve y resignificación simbólica, como programas de interpretación, restauración ecológica, usos complementarios y protocolos de compensación cultural.

CO B (Intervención condicionada) - VI media (5-12 puntos)

En casos de intervención condicionada (CO B, VI media), el proyecto presenta compatibilidad parcial, por lo que se requieren estrategias de adaptación del diseño, mitigación progresiva y restauración de áreas sensibles. En proyectos propuestos o en construcción, se recomienda re-configurar el diseño para mejorar la integración visual, redefinir el emplazamiento en función de unidades frágiles y promover el co-diseño con comunidades locales. En proyectos operativos o inoperativos, las acciones se orientan a restaurar la calidad visual mediante camuflaje y revegetación, proteger unidades con fragilidad residual y aplicar protocolos de compensación simbólica que resignifiquen el paisaje transformado.

CO C (Intervención crítica) - VI alta (13-18 puntos)

En casos de intervención crítica (CO C, VI alta), el proyecto presenta una alta incompatibilidad paisajística, por lo que las estrategias deben orientarse a su reformulación, suspensión o compensación,

priorizando la protección de áreas sensibles y la reparación territorial. En proyectos propuestos o en construcción, se recomienda suspender o rediseñar la intervención, establecer áreas de exclusión energética, evaluar alternativas de menor impacto y garantizar participación ciudadana vinculante en la toma de decisiones. En proyectos operativos o inoperativos, las acciones se enfocan en diagnosticar la reversibilidad del paisaje, restaurar zonas de alta fragilidad, implementar planes de desmantelamiento o reconversión, y aplicar estrategias de resignificación simbólica y normativa.

CASO DE ESTUDIO

La aplicación de la metodología propuesta comenzó con la identificación de *áreas críticas* clasificadas en alta, media y baja, en función de su *interés paisajístico (figura 3)* y su relación con la localización de *parques eólicos y solares (figura 2)*. El interés paisajístico se definió mediante la superposición de capas territoriales de alto valor ambiental, ecológico y simbólico, incluyendo áreas importantes para la conservación de aves (AICA), sitios claves para la Biodiversidad global, sitios RAMSAR, reservas de biosfera, áreas protegidas nacionales y provinciales, ecorregiones prioritarias y zonas de alta accesibilidad. Esta integración permitió construir un mapa de sensibilidad territorial que reconoce no sólo la riqueza ecológica del entorno, sino también su potencial perceptivo y cultural.

La delimitación de estas áreas se realizó mediante la matriz de *fragilidad paisajística (Tabla 3)*, que integra variables como sensibilidad visual, valor simbólico, vulnerabilidad ecológica y riesgo de transformación. Para ello, se utilizaron fuentes secundarias georeferenciadas, incluyendo bases cartográficas oficiales, inventarios ambientales, registros públicos de proyectos energéticos y sistemas de información geográfica (SIG), lo que permitió estructurar una base territorial fundamentada y replicable. A partir de este análisis, se definieron las principales áreas críticas a escala nacional, vinculadas a grandes unidades de paisaje (Figura 4).

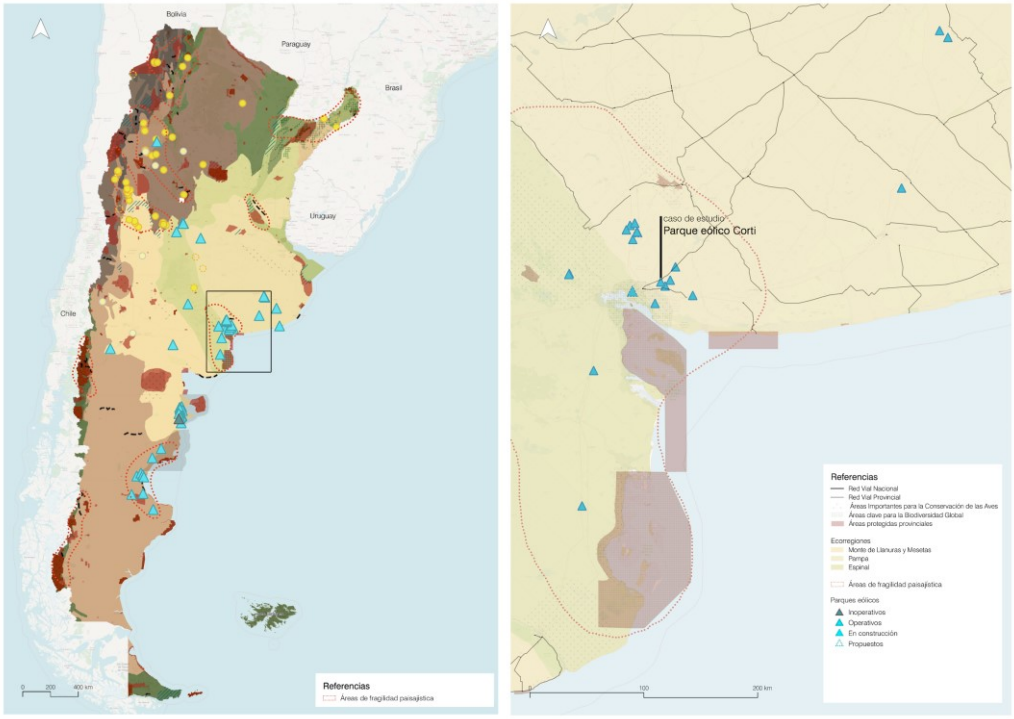


Figura 4: Áreas de fragilidad paisajística (izquierda). Figura 5: Parque eólico Corti, Provincia de Buenos Aires (derecha). Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir de esta identificación, se seleccionó como **caso de estudio** el parque eólico Corti, ubicado en la ciudad de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires (Figura 5). Esta elección responde a la relevancia territorial del área, determinada por su alto interés paisajístico, resultado de la superposición de capas de valor ambiental, ecológico y simbólico, y por la concentración de proyectos energéticos en la región. Actualmente, en Bahía Blanca y su área de influencia se prevén cuatro parques eólicos, algunos de ellos en plena ejecución: el mencionado Corti, el Parque Eólico García del Río (a 30 km de la ciudad), y otros dos proyectos en etapa de planificación avanzada. Esta superposición de valores y concentración de proyectos energéticos en la región la posiciona como un nodo estratégico para el análisis de los impactos paisajísticos asociados a la transición energética. Además, la disponibilidad de información técnica, cartográfica y documental sobre los proyectos en curso y el entorno territorial facilita la aplicación metodológica, permitiendo validar los instrumentos propuestos en un contexto representativo, complejo y documentado.

En este marco, se procedió al relevamiento de unidades de paisaje, su caracterización y la aplicación de matrices de calidad, fragilidad e impacto paisajístico, con el objetivo de obtener una lectura integral del entorno afectado. Los resultados se sintetizan en las siguientes tablas:

Tabla 2: Calidad Paisajística. Fuente: Elaboración propia, 2025.

CALIDAD PAISAJÍSTICA			
Dimensión	Variable	Indicador	Valor
Geográfica Urbanística	Entorno	Características del entorno en cuanto a perfil urbano y los usos predominantes	2
	Tipo Residencial	Tipo residencial predominante del entorno	2
	Accesibilidad	La posibilidad de los habitantes de acceder en relación a las principales vías de comunicación y los medios de transporte público	3
Biofísica	Suelo	Rugosidad del suelo en relación a la pendiente	1
	Agua	Tipo de cuerpo de agua	3
		La ribera o borde posee vegetación en todo la extensión	2
		La ribera o borde posee vegetación en algunos sectores de la extensión	2
		La ribera o borde no posee vegetación	2
		Movimiento que posee el cuerpo de agua	2
		Abundancia de agua presente en relación a la superficie	1
		La calidad y característica visual del cuerpo de agua	3
	Vegetación	La cobertura es mayor a 75%	2
		La cobertura es mayor a 25% y menor a 75%	2
		La cobertura es menor que el 25%	2
		La temporalidad de la vegetación	2
		diversidad de flora	2
		Estratificación mayor a la magnitud x	2
		Estratificación entre la magnitud x y x	2
		Estratificación menor a la magnitud x	2
		El follaje predominante de la vegetación	2
	Fauna	Presencia de especies	2
		Diversidad de especies	3
Estructural	Naturalidad	El grado de antropización del ambiente	3
	Diversidad paisajística	Grado de heterogeneidad en relación a los elementos que componen el paisaje	1
		Grado de singularidad del paisaje en base a sus componentes	3
Estética	Forma	Diversidad de formas en los elementos que componen el espacio	2
	Color	Contraste de colores	2
		Diversidad de colores en los elementos compositivos	2
	Textura	La relación entre la luz y sombra de la superficie	3
		Diversidad de granulometría	1

Tabla 3: Fragilidad paisajística. Fuente: Elaboración propia, 2025.

FRAGILIDAD PAISAJÍSTICA			Valor
Sensibilidad visual	Evalúa la capacidad del paisaje para absorber cambios sin perder su coherencia perceptiva, considerando la heterogeneidad visual, la presencia de elementos memorables y el contraste con nuevas implantaciones.	Homogeneidad / heterogeneidad visual del entorno	2
		Presencia de elementos simbólicos o memorables	2
		Contraste cromático con elementos nuevos	3
Valor simbólico	Reconoce el significado cultural y emocional atribuido al paisaje por las comunidades, incluyendo su presencia en relatos locales, rituales y grado de apropiación social.	Presencia en relatos o imaginarios locales	2
		Uso ritual, comunitario o tradicional	1
		Intensidad de apropiación por grupos sociales	1
Vulnerabilidad ecológica	Determina la fragilidad del paisaje en términos de conectividad biológica, resiliencia ecosistémica y susceptibilidad a la fragmentación o pérdida de hábitats.	Pérdida de hábitat	2
		Conectividad ecológica interrumpida o débil	3
		Fragmentación del hábitat	3
Riesgo de transformación	Identifica presiones externas que pueden alterar el paisaje, como normativas, accesibilidad a infraestructuras o dinámicas urbanísticas, extractivas o turísticas.	Presiones urbanísticas / extractivas / turísticas	3
		Normativas que habilitan cambios de uso	3
		Accesibilidad a infraestructuras que potencian transformación	3

Tabla 4: Evaluación de impacto paisajístico. Fuente: Elaboración propia, 2025.

EVALUACIÓN DE IMPACTO PAISAJÍSTICO			
Dimensión	Variable	Indicador	Valor
Perceptual	Calidad visual	Valor estético del paisaje según atributos como armonía, contraste, apertura	3
	Exposición visual	Grado de visibilidad de la obra desde puntos sensibles o recorridos habituales	3
	Singularidad	Presencia de elementos únicos o identitarios en el paisaje	2
	Coherencia	Compatibilidad entre la obra y la imagen del paisaje existente	1
Simbólica cultural	Valor simbólico	Significados atribuidos por la comunidad al paisaje afectado	2
	Usos y prácticas	Actividades cotidianas o rituales vinculadas al paisaje	3
	Patrimonialidad	Presencia de bienes culturales, históricos o naturales reconocidos	2
Estructural	Transformación	Intensidad de la modificación física del paisaje	3
	Reversibilidad	Posibilidad de restaurar el paisaje tras la intervención	3
	Integración	Análisis de la adaptación de la obra al paisaje: escala, forma, color, textura	1
	Sensibilidad	Determinación de la fragilidad o resistencia del paisaje frente a cambios	3
Impacto total	Valoración global de los efectos físicos, visuales y ecológicos de la intervención sobre la estructura del paisaje		3

CALIDAD PAISAJÍSTICA (C) = 63 puntos → categoría 2
FRAGILIDAD PAISAJÍSTICA (F) = 29 puntos → categoría 2
IMPACTO PAISAJÍSTICO (I) = 28 puntos → categoría 2

Aplicando la Ec. 1:

$$\mathbf{2} + \mathbf{2} = \mathbf{4}\ \boldsymbol{x}\ \mathbf{2} = \mathbf{8} = \boldsymbol{VI\ MEDIA} \rightarrow \boldsymbol{CO\ B} \qquad (1)$$

$$(\boldsymbol{C}) + (\boldsymbol{F}) = \boldsymbol{Y}\ \boldsymbol{x}\ (\boldsymbol{I}) = \boldsymbol{VI} \rightarrow (\boldsymbol{CO})$$

Se obtiene una Valoración Integral (VI) de 8 puntos, correspondiente a una valoración media, que se asocia al criterio operativo B – Intervención condicionada.
Este resultado indica que el proyecto del parque eólico Corti (CO B), presenta compatibilidad parcial con el paisaje receptor, lo que requiere la implementación de estrategias específicas de adaptación y mitigación orientadas a minimizar los impactos visuales, ecológicos y simbólicos, y fortalecer su integración territorial. Este tipo de lectura operativa permite traducir la evaluación técnica en decisiones concretas, facilitando su incorporación en procesos de planificación territorial, evaluación ambiental y diseño de políticas públicas.

Cada criterio operativo (CO) se aplica de forma diferenciada según el estado del proyecto (propuesto, en construcción, operativo o inoperativo), lo que permite ajustar las estrategias a las posibilidades reales de intervención. En el caso de Corti, al tratarse de un proyecto operativo, se aplican estrategias de mitigación progresiva, tales como la restauración ecológica, la resignificación simbólica y el monitoreo participativo del impacto. Estas estrategias se vinculan directamente con los componentes evaluados: *calidad paisajística:* diseño sensible, señalética cultural, usos complementarios; fragilidad *paisajística:* buffers visuales, revegetación, ordenación territorial sensible e *impacto paisajístico:* gestión adaptativa, compensación simbólica, protocolos de reversibilidad.

RESULTADOS
La aplicación de la metodología en el parque eólico Corti permitió validar su eficacia en un contexto caracterizado por alta presión territorial y amplia disponibilidad de información técnica, lo que posibilitó la implementación completa de las matrices sobre unidades de paisaje previamente caracterizadas. El análisis identificó las unidades más sensibles a la intervención, en función de sus atributos perceptivos, simbólicos y ecológicos, así como las áreas con mayor fragilidad visual y ecológica, determinadas por la exposición y la singularidad del territorio. También se reconocieron los impactos perceptivos y culturales asociados a la presencia de la infraestructura energética, y se estableció el nivel de compatibilidad del proyecto considerando criterios de integración visual, reversibilidad y grado de transformación estructural.

Los resultados evidencian un **nivel de compatibilidad intermedio**, lo que indica que, si bien existen áreas con alta capacidad de integración, persisten sectores de elevada sensibilidad donde los impactos visuales y simbólicos requieren estrategias de mitigación específicas.

El proceso de aplicación permitió, además, reconocer limitaciones metodológicas que deben ser consideradas en estudios futuros. Entre ellas, la disponibilidad desigual de datos geoespaciales en algunas regiones, que restringe la aplicación homogénea del modelo; la falta de información pública sobre proyectos en etapa de planificación, que dificulta la anticipación de impactos; y la escasa producción académica y técnica en Argentina sobre evaluación paisajística vinculada a la transición energética. Esta ausencia de antecedentes nacionales refuerza la relevancia del estudio, al ofrecer una primera aproximación sistemática para articular calidad, fragilidad e impacto paisajístico en proyectos de infraestructura energética.

En síntesis, la metodología aplicada no solo demostró su operatividad y capacidad diagnóstica en el caso analizado, sino que también aportó criterios replicables y adaptables a otros territorios y escalas. De este modo, contribuye tanto al fortalecimiento de herramientas para la planificación territorial como al desarrollo de un campo emergente de investigación en el país.

CONCLUSIONES

El estudio permitió validar una metodología integral para la evaluación paisajística en contextos de transición energética, articulando matrices de calidad, fragilidad e impacto con criterios operativos aplicables a distintos estados de proyecto. La aplicación en el caso del parque eólico Corti evidenció que, si bien el proyecto no resulta incompatible con el paisaje receptor, requiere intervenciones específicas para minimizar sus impactos y mejorar su integración territorial. A su vez, se evidenció una vacante temática en el ámbito académico y técnico nacional: la escasa producción sobre evaluación paisajística aplicada a proyectos energéticos, y la ausencia de marcos normativos que incorporen el paisaje como variable evaluativa prioritaria. Los resultados obtenidos se alinean con estudios internacionales en regiones como Andalucía (2019), donde se ha documentado que la infraestructura energética genera impactos visuales y simbólicos significativos, incluso en paisajes rurales o semi-naturales. En todos los casos, se destaca la necesidad de aplicar modelos que integren variables perceptivas, ecológicas y culturales.

La planificación energética en contextos de transición requiere incorporar el paisaje como una dimensión estratégica, no solo por sus atributos físicos, sino también por su valor simbólico, perceptivo y cultural. Este trabajo propone una metodología que articula la delimitación de unidades de paisaje con matrices de valoración paisajística, con el fin de evaluar las transformaciones generadas por infraestructuras energéticas en territorios rurales y periurbanos.

Desde una perspectiva sensible y situada, el paisaje se concibe como una construcción dinámica, resultado de la interacción entre naturaleza, cultura y percepción. En este marco, las tecnologías energéticas, aunque necesarias, producen efectos visuales y simbólicos que alteran los paisajes cotidianos, reconfiguran el sentido de lugar y afectan la identidad territorial. Reconocer esta dimensión implica ampliar los marcos normativos vigentes, que en Argentina aún excluyen al paisaje como variable evaluativa prioritaria.

La metodología desarrollada constituye una herramienta replicable para evaluar el paisaje en escenarios de transición energética, al sistematizar la relación entre infraestructura y territorio, integrar variables como sensibilidad visual, valor simbólico, vulnerabilidad ecológica y riesgo de transformación, e informar procesos de planificación territorial con enfoque situado. Su aplicación permite no solo diagnosticar las afectaciones paisajísticas, sino también diseñar estrategias de mitigación, conservación y resignificación que articulen el desarrollo energético con la preservación del paisaje, sirviendo como base para ajustes normativos, estudios comparativos y participación ciudadana, y promoviendo una transición energética justa, inclusiva y contextualizada.

A partir de la validación metodológica y los resultados obtenidos, se proponen posibles lineamientos operativos que orientan la planificación territorial en escenarios de transición energética. Estos incluyen la incorporación de criterios paisajísticos desde la etapa de diseño, la aplicación de matrices sensibles y contextualizadas según el estado del proyecto, la protección de áreas de alto valor ecológico, visual o simbólico, y el reconocimiento de saberes locales y prácticas territoriales. Asimismo, se plantea la necesidad de promover configuraciones flexibles, sistemas de monitoreo participativo y mecanismos de revisión periódica que permitan ajustar las intervenciones en función de la evolución del paisaje.

Finalmente, se destaca la importancia de avanzar hacia una instrumentación normativa que reconozca al paisaje como dimensión evaluativa estratégica en los estudios de impacto ambiental. Esto implica incorporar protocolos específicos para infraestructuras energéticas en territorios sensibles, y fomentar la articulación entre actores técnicos, políticos y comunitarios en la gestión del paisaje. En conjunto, estos lineamientos no solo permiten minimizar los impactos del desarrollo energético, sino que habilitan

una planificación territorial más sensible, situada y capaz de reconocer la diversidad de valores que conforman el paisaje como recurso identitario, cultural y ecológico.

Se propone avanzar hacia modelos de planificación territorial que integren criterios técnicos con sensibilidad social y ambiental, fomentando la participación comunitaria y respetando la diversidad de valores locales. En este sentido, el paisaje no debe entenderse como un mero fondo escénico, sino como una expresión viva del territorio, clave para pensar futuros sostenibles.

REFERENCIAS

Acevedo, T. (2024). Las energías renovables en Argentina y su inserción en un escenario de transición energética ecodesarrollista (Tesis de grado). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Memoria Académica. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.3033/te.3033.pdf

Climate Watch. (2022). Historical GHG emissions. Data Explorer. Available online: https://www. climatewatchdata.org/data-explorer

Consejo de Europa (2000). Convenio Europeo del Paisaje. Council of Europe, Cultural Heritage, Landscape and Spatial Planning Division, Florencia.

Cueto-Mondéjar, D., & Castellano-Pulido, F. J. (2023). La integración de la energía renovable en el paisaje litoral europeo: Tres casos de estudio. Revista Rita, 20, 188-211

Estruch, X. (1992). Las evaluaciones de impacto ambiental en los estudios de paisaje. de BOLÓS, M.(Editora). Manual de Ciencia del Paisaje. Teoría métodos y aplicaciones. Barcelona: Ed Masson.

Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN). (2024a). Documento de posición sobre transición energética. FARN.

Junta de Andalucía. (2019). Guía para el tratamiento del paisaje en la planificación urbanística. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Kazimierski, M. (2020). La energía distribuida como modelo post-fósil en Argentina. Economía Sociedad Y Territorio, 20(63), 397–428. https://doi.org/10.22136/est20201562

Ley 27.191 de 2015. Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación Ley 26.190. 15 de octubre de 2015.

Moya Pellitero, A. (2011). The phenomenological experience of the visual landscape. Research in Urbanism Series, 2, 57-71.

Nogué, J., & Sala, P. (2008). El paisaje en la ordenación del territorio. Los catálogos de paisaje de Cataluña. Cuadernos geográficos, (43), 69-98.

ONU (2024). Energías renovables: energías para un futuro más seguro. ONU. Mimeo. Energías renovables: energías para un futuro más seguro | Naciones Unidas. https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy

Porcelli, A., & Martínez, A. (2018). Una inevitable transición energética: El prosumidor y la generación de energías renovables en forma distribuida en la legislación argentina nacional y provincial. Actualidad Jurídica Ambiental, (75), 4–49. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas – Centro Internacional de Estudios de Derecho Ambiental.

Sabbatella, I. (2023). Transición energética: El cuadrilema argentino. En M. Burgos y I. Sabbatella (Coords.), Desarrollo y ambiente. Problemas y debates desde la periferia (pp. 31-56). Ed. CCC.

Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). Guía para la evaluación de los impactos ambientales de proyectos de energías renovables. Buenos Aires, Argentina.

LANDSCAPE AND ENERGY TRANSITION: INTEGRATION METHODOLOGY IN RENEWABLE ENERGY PROJECTS.
THE CASE OF THE CORTI WIND FARM, BAHÍA BLANCA, ARGENTINA

ABSTRACT. This paper presents and validates a methodology for integrating landscape assessment into the planning of renewable energy projects based on its application in the Corti wind farm (Bahía Blanca, Argentina). The methodology combines the delimitation of landscape units with the construction of visual quality and impact matrices, incorporating territorial, ecological and sociocultural criteria. The results show that the farm has an intermediate level of landscape compatibility, with impacts located in areas of high visual and cultural sensitivity. The analysis highlights the need to complement traditional environmental impact studies with specific landscape assessments capable of capturing social perceptions and heritage values of the territory. Likewise, comparison with international experiences suggests the importance of adapting local regulatory frameworks to incorporate the landscape dimension into the energy transition. In conclusion, the methodology tested in the Corti case demonstrates its potential as a management tool and provides concrete inputs to strengthen the integration between renewable energies and landscape in Argentina.

Keywords: landscape, energy transition, methodology, renewable energies