

## CODE 40

### ENERGY RETROFIT AND BIOCLIMATIC DESIGN ON A KINDERGARTEN IN NEUQUÉN, ARGENTINA

#### *REHABILITACIÓN ENERGÉTICA Y DISEÑO BIOCLIMÁTICO EN UN JARDÍN MATERNAL EN NEUQUÉN, ARGENTINA.*

**Esteche, Malvina<sup>1</sup>; Diulio, M. Paz<sup>2</sup>; Gómez, Analía<sup>3</sup>**

1: Laboratorio de Experimentación Proyectual y Estudios Urbano-Territoriales  
Universidad Nacional de Río Negro  
e-mail: [malvinaesteche@gmail.com](mailto:malvinaesteche@gmail.com)

2: Laboratorio de Experimentación Proyectual y Estudios Urbano-Territoriales  
Universidad Nacional de Río Negro. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.  
e-mail: [mpdiulio@unrn.edu.ar](mailto:mpdiulio@unrn.edu.ar)

3: Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Universidad Nacional de La Plata  
e-mail: [analía.gomez@fau.unlp.edu.ar](mailto:analía.gomez@fau.unlp.edu.ar)

## RESUMEN

El proyecto Euroclima se ocupó durante 2021 y 2022 de evaluar edificios municipales de Argentina a fines de proponer mejoras en su eficiencia energética (EE). Sus conclusiones indican el ahorro potencial que podría generar la incorporación de aislamiento térmico en cubierta, muros, pisos y recambio de aberturas. La mejora en EE es un aspecto importante y significativo desde el punto de vista ambiental, pero no es el único. Por eso, el objetivo del presente trabajo es evaluar las posibilidades de ahorro energético y confort adicional que aportarían las medidas de diseño bioclimático combinadas con la EE en un caso de estudio, el Jardín Maternal Mariano Moreno, del Municipio de Neuquén. Para lograrlo, se analiza el clima local y las estrategias bioclimáticas que mejor se adaptan al caso: ganancia solar directa, inercia térmica con ventilación nocturna y enfriamiento evaporativo. Se evalúan las mejoras mediante una simulación dinámica con *Design Builder* en 3 escenarios: en el estado actual, con las mejoras de EE, y con las intervenciones bioclimáticas. Los resultados indican un 86% de potencial ahorro anual de energía con EE, mejorando principalmente el confort en invierno; y un 90% con estrategias bioclimáticas, mostrando beneficios de confort en verano. El ahorro en energía impacta en la economía de los Municipios, y el confort en la productividad de los empleados municipales. A la luz de los resultados de este caso de estudio, se concluye que una rehabilitación energética eficaz debería incluir tanto medidas de eficiencia como de diseño bioclimático.

**PALABRAS CLAVE:** Eficiencia energética; Diseño bioclimático; Simulación; Cambio Climático.

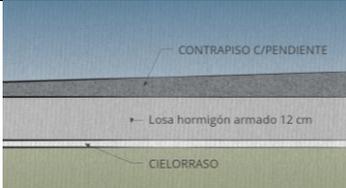
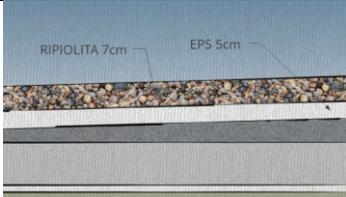
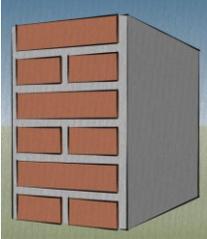
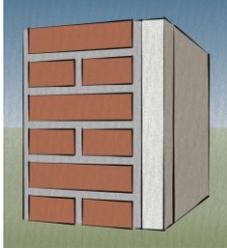
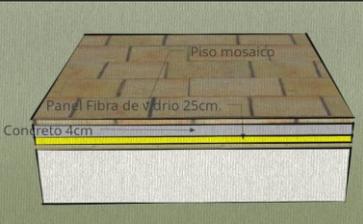
## 1. INTRODUCCIÓN

La decisión de efectuar rehabilitaciones energéticas deriva de la necesidad de tomar acciones para lograr confort térmico desacoplado del consumo de combustibles fósiles en un intento de frenar el avance del cambio climático. La vida útil de un edificio en Argentina es de 50 a 100 años, es decir que la mayoría de los edificios en uso fueron diseñados y construidos antes de la normativa sobre eficiencia energética

vigente (Legislatura de la Provincia de Neuquén, 2022; Poder Ejecutivo de la Provincia de Neuquén, 2023), y no cuentan con envolventes eficientes que permitan atenuar las inclemencias del clima exterior.

En Argentina existe una coalición de 286 municipios y comunas llamada “Red Argentina de Municipios Frente al Cambio Climático” (RAMCC) que, junto a una secretaria ejecutiva, coordina e impulsa planes estratégicos para limitar el incremento promedio de la temperatura global a menos de 2°C (RAMCC). A su vez, 32 de estos Municipios, entre ellos Neuquén, participan de “Edificios Municipales Energéticamente Sustentables” (EMES) que es un proyecto que se circunscribe dentro de las líneas de acción del Programa Euroclima+ con el que se financia el desarrollo de políticas, capacitaciones, auditorías, y apoyo a la eficiencia energética (EE) en edificios públicos municipales (RAMCC).

Tabla 1. Coeficiente de transmitancia térmica ( $K = W/m^2K$ ) de los cerramientos y demanda anual de energía en climatización calculada en el Informe JMMM EMES Euroclima+

Cerramiento	Estado actual	Mejorado con EE
Cubierta	 <p>Losa de Hormigón armado con cielorraso y contrapiso con pendiente. <math>K=2,92 W/m^2K</math></p>	 <p>Agregado de placa de EPS 20kg/m<sup>3</sup> 5cm, y 7 cm de rípiolita. <math>K=0,30 W/m^2K</math></p>
Muros	 <p>Ladrillón 6x12x26 cm. Revocado en ambas caras. <math>K=1,88 W/m^2K</math></p>	 <p>Muro mejorado con 5 cm. de EPS <math>K=0,50 W/m^2K</math>.</p>
Pisos	 <p>Mosaico sobre suelo compactado <math>K=1,38 W/m^2K</math></p>	 <p>Lana de Vidrio + Carpeta de hormigón armado <math>K=0,52 W/m^2K</math></p>
Aberturas	Vidrio simple marco metálico $K=5,86 W/m^2K$	Doble vidriado hermético con marco de PVC. $K=2,86 W/m^2K$
Calefacción	Calefactores tiro balanceado	Piso radiante con caldera de condensación
DEMANDA EN CALEFACCIÓN	41.435 kWh/año	15.374 kWh/año (Ahorro de 62,9%)
DEMANDA EN REFRIGERACIÓN	39.893 kWh/año	21.673 kWh/año (Ahorro de 45,67%)

El proyecto EMES se ocupa de, entre otros temas, realizar auditorías energéticas para establecer un diagnóstico en los edificios municipales, medir su desempeño energético y analizar mejoras de EE que minimicen el consumo de energía sin abdicar al confort climático. Uno de sus casos de estudio fue el Jardín Maternal Mariano Moreno (JMMM) de Neuquén, para el que examinan las características constructivas de los cerramientos y realizan un balance térmico anual en estado estacionario.

Sin embargo, además de las mejoras de eficiencia energética mencionadas en la Tabla 1, existen otras intervenciones que podrían tener impacto en el consumo de energía del edificio, como son las estrategias de diseño bioclimático. Consisten en utilizar las condiciones del entorno como herramientas para contribuir al confort interior. Generalmente se clasifican en estrategias para contribuir a la calefacción (ganancia solar directa, muro acumulador, invernadero adosado), y estrategias para contribuir al refrescamiento (chimeneas solares, la ventilación selectiva, protecciones solares, refrescamiento evaporativo).

No es posible verificar el efecto de las estrategias bioclimáticas mediante un procedimiento en estado estacionario, ya que interviene el flujo de calor a lo largo de un ciclo diario, su almacenamiento y posterior sesión al entorno en busca de equilibrio, por eso la estrategia idónea es realizar una simulación dinámica. La simulación es una alternativa superadora en complejidad a la evaluación en estado estacionario, y para realizarla se debe crear la maqueta virtual del edificio, e incorporar las características y propiedades de sus componentes constructivos, las cargas internas, las rutinas de uso del edificio y contar con un archivo climático horario del sitio, o archivo .EPW.

A partir del análisis del informe del JMMM (Czajkowski, J. D. et. Al, 2023) realizado en el contexto de EMES Euroclima+, surge el interrogante de determinar cuál sería la contribución a la reducción de la demanda de energía en caso de implementar estrategias de diseño bioclimático, manteniendo siempre las condiciones de confort en el edificio. El objetivo de este trabajo es modelizar el edificio y determinar mediante simulación la demanda actual de energía en calefacción y refrigeración, la demanda estimada al implementar las mejoras de EE, y la demanda estimada al implementar intervenciones de diseño bioclimático.

## 2. EL PROYECTO BIOCLIMÁTICO EN EL CASO DE ESTUDIO

El Jardín (Figura 1) cuenta con 435 m<sup>2</sup> en planta baja, en un lote de 1740 m<sup>2</sup>. Se ocupa de febrero a diciembre entre las 7 y las 19 horas.

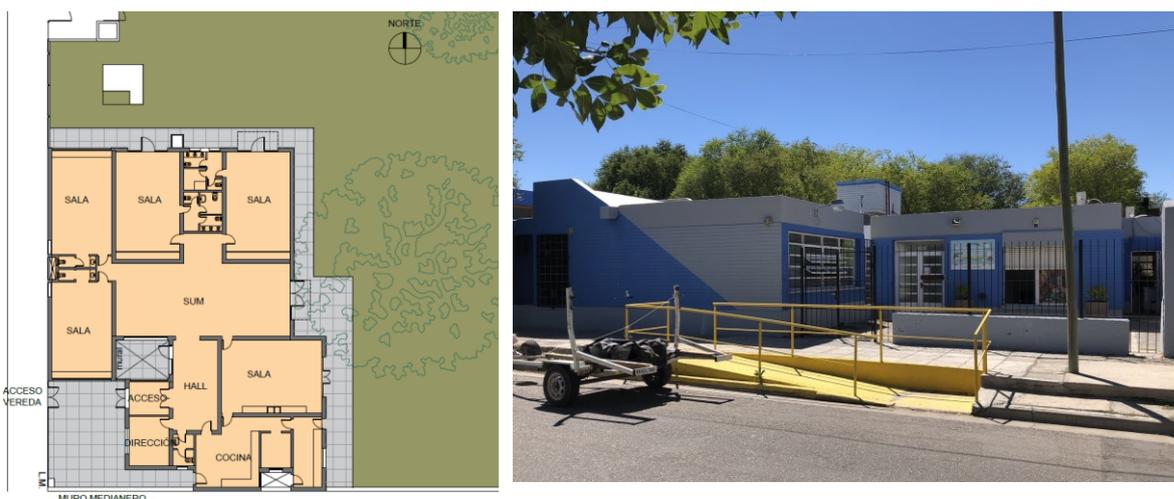


Figura 1. Planta y fachada del JMMM.

Mientras que los dos primeros objetivos se logran simulando el JMMM según las características de la envolvente descritas en la Tabla 1, para el tercer objetivo es necesario determinar cuáles son las estrategias de diseño bioclimáticas idóneas para el clima de Neuquén (Lat 38,95° Sur).

Los datos del archivo climático EPW de la estación meteorológica del Aeropuerto Presidente Perón, Neuquén, con datos de 2007 a 2021, se representan en un diagrama bioclimático de Givoni (1981), cuyo aporte principal es el de indicar cuál es la estrategia idónea según la combinación de temperatura y humedad más frecuente. En la Figura 2 las zonas de mayor frecuencia se representan con el tono azul más oscuro. La herramienta utilizada es Psychro Chart (Marsh, 2018) y permite filtrar el horario escolar: del 1 de febrero al 20 de diciembre, las horas desde las 7 a las 19, y los días de la semana de lunes a viernes. Se señala un polígono morado para representar la variación térmica de un día típicamente frío y un polígono rojo representando un día típicamente cálido.

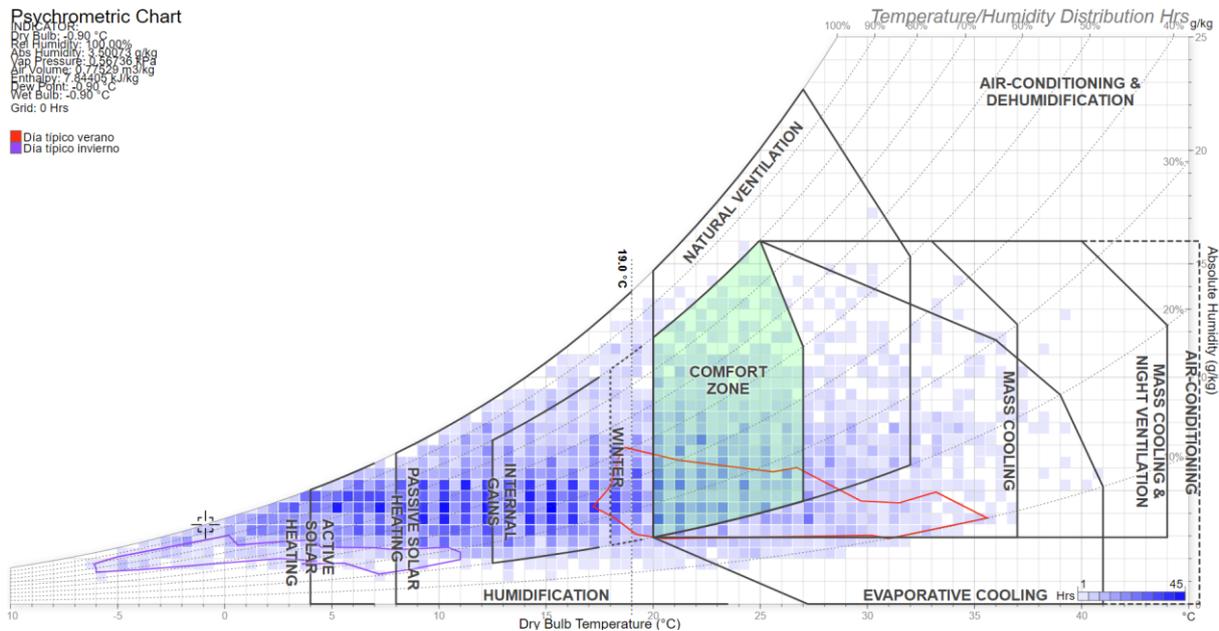


Figura 2. Diagrama bioclimático para Neuquén, Argentina, en las horas de utilización

El edificio naturalmente ventilado tiene un 9,7% de las horas del año dentro de la zona de confort. Si se consideran las ganancias de calor internas, como la ocupación y los equipos se completa el 36,8% del año en confort. Esto se ve favorecido por las intervenciones en EE que se proponen, ya que el calor generado incidentalmente no se disipa como pérdida a través de la envolvente, sino que se aprovecha como aporte de calefacción. La combinación de inercia térmica con ventilación nocturna y enfriamiento evaporativo incrementan el confort a 60,5% de las horas, cubriendo casi completamente el período de refrescamiento. Incorporando ganancia solar directa se logra satisfacer el 71,8% de las horas en confort, y a partir de aquí ya no hay estrategias pasivas, sino que se debe implementar un sistema de calefacción convencional para alcanzar el total de las horas de uso en confort térmico.

Este análisis permite justificar la incorporación de masa para generar inercia térmica como estrategia de refrescamiento, el agregado de un pergolado exterior con abundante vegetación que contribuye al enfriamiento evaporativo, permitiendo la máxima ganancia solar directa como estrategia de calefacción.

La estrategia de inercia térmica consiste en incorporar masa en las paredes, piso o techo con un espesor mínimo de 10,2 cm. Se recomienda que la relación de superficie expuesta a área de acristalamiento solar sea entre 3:1 a 9:1 (Palette 2030, 2015). Por ejemplo, en una sala de 40m<sup>2</sup> que tiene una superficie vidriada orientada al norte de 6m<sup>2</sup> se necesitan de 18m<sup>2</sup> a 54 m<sup>2</sup> de superficie másica de 10 cm de espesor que aporte inercia térmica, o lo que es mismo, 1,8 y 5,4 m<sup>3</sup>. La propuesta se materializa en el caso de estudio con el agregado de un mueble bajo de hormigón, que sirva además como equipamiento corrido a lo largo del muro perpendicular a la abertura. Por ser bajo, es seguro para las infancias, y su apoyo mide 7,20 x 0,80m. con una altura de 0,80m., de modo de no atentar contra la estructura del edificio. El mueble cuenta con 6 espacios de guardado de materiales en un volumen de 2,4 m<sup>3</sup> (Figura 3).

La ventilación nocturna se propone por medio de rejillas operables entre el interior de las salas y el patio. No hay conexión entre salas y pasillos para no propiciar la difusión del sonido. Estas dos rejillas se ubican una debajo del cielorraso -que permite la salida de aire con mayor temperatura-, y otra a 30 cm. sobre el suelo -por donde ingresa aire fresco exterior-, deberían ser abiertas al finalizar la jornada y deberían cerrarse al día siguiente, al iniciar la jornada.

El proceso de evaporación del agua que pasa del estado líquido a gaseoso utiliza el calor del aire como energía para forzar ese cambio de fase, y esto se denomina enfriamiento evaporativo. En este caso el agua proviene de la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas. Se propone la incorporación de una pérgola de 2 metros de profundidad que proteja toda la cara norte, de perfilera metálica, que en su cara exterior está materializada con *green roof*, configurado con un follaje de 10cm de espesor; índice de área foliar de 2,7; reflectividad de la hoja de 0,22; emisividad de la hoja de 0,85; resistencia estomática de 100; contenido de humedad volumétrico máximo en saturación de 0,5. Para no interferir en las ganancias térmicas por radiación, este pergolado se configura para estar en funcionamiento completo desde noviembre hasta febrero, parcial durante marzo, abril, septiembre y octubre, que es cuando el follaje está desarrollándose o en remisión, y nulo desde mayo hasta agosto.

La ganancia solar directa consiste en admitir radiación solar en invierno para calentar el espacio interior. Para climas tempados en la latitud de Neuquén (-38.95° Lat. Sur), se necesita que la superficie acristalada sea del 10% de la superficie a climatizar (Palette 2030, 2015). En el JMMM puede practicarse en las caras orientadas al este y al norte.

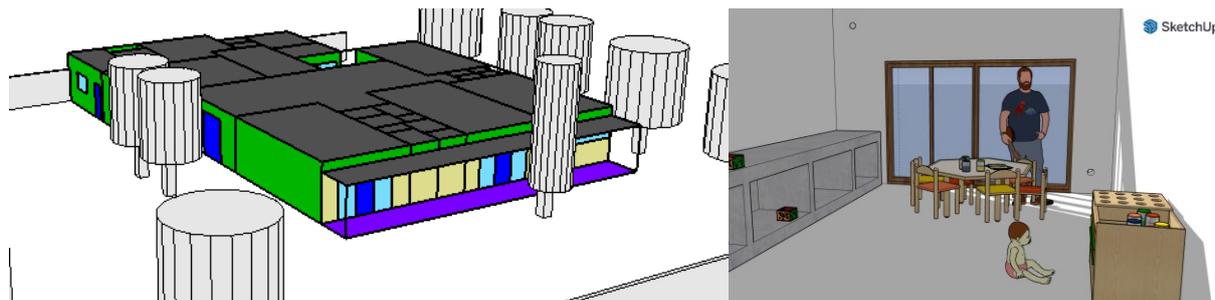


Figura 3 esquemas de las estrategias bioclimáticas propuestas: pergolado al norte (izq.); inercia térmica y ventilación nocturna (der.)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología consiste en la utilización del software *Design Builder* para simular el comportamiento térmico-energético de un modelo digital del JMMM. En este trabajo se propone el análisis de 3 escenarios: el caso de estudio en el estado actual (E1), luego con las mejoras de eficiencia energética tal como fueron planteadas por el informe EMES Euroclima+ (E2), y finalmente con las intervenciones de diseño bioclimático (E3).

#### 3.1 Comparación entre resultados de balance térmico y simulación

Esta prueba pretende replicar el proceso de determinar la demanda de energía en climatización para lograr una temperatura interior de 20 grados durante todo el año, y 2 renovaciones de aire cada hora. Se compara el método del balance térmico, con los resultados del informe de EMES Euro clima y la simulación con *Design Builder* para el mismo objetivo térmico.

#### 3.2 Análisis del confort interior en los tres escenarios simulados

El siguiente punto de comparación tiene como fin estimar el impacto en el confort higrotérmico de la implementación de medidas de diseño bioclimático además de la mejora en la eficiencia energética de

la envolvente. Para lograrlo se comparan sobre un rango de confort delimitado entre 19° y 26°C, los tres escenarios simulados: con el edificio en su estado actual; con las mejoras en la envolvente y en la eficiencia energética; y con las estrategias de diseño bioclimático. En esta prueba no se incorpora el efecto de ningún equipamiento: son simulaciones en régimen de ventilación natural.

### 3.3 Incidencia en la demanda de energía en climatización

Por otra parte, es de interés evaluar el impacto de las medidas implementadas en el consumo de energía para lograr un objetivo determinado. Dado que en el informe de EMES EuroClima adoptan como objetivo 20°C durante todo el año, también se utiliza ese valor en este cálculo. Con los resultados de la simulación en los 3 escenarios, se determina la demanda de energía en calefacción (abril a septiembre) y en refrigeración (diciembre, febrero y marzo), y se calcula la demanda relativa al E1, que representa el edificio tal como se encuentra en la actualidad.

## 4. RESULTADOS

Luego de modelizar los 3 escenarios, se obtienen los siguientes resultados.

### 4.1 Comparación entre resultados de balance térmico y simulación

En E1, es decir, el edificio tal como se encuentra actualmente, la comparación entre la demanda de energía en climatización determinada mediante ambas metodologías resulta muy aproximada. La demanda anual simulada es de 89.504 kWh y 81.328 kWh para el balance térmico. Esta similitud no se verifica en el escenario 2, mejorado con medidas de eficiencia energética: la demanda anual simulada es de 11.724kWh y la del BT es 37.044kWh. En invierno la demanda estimada mediante simulación es cuatro veces inferior a la determinada por balance térmico.

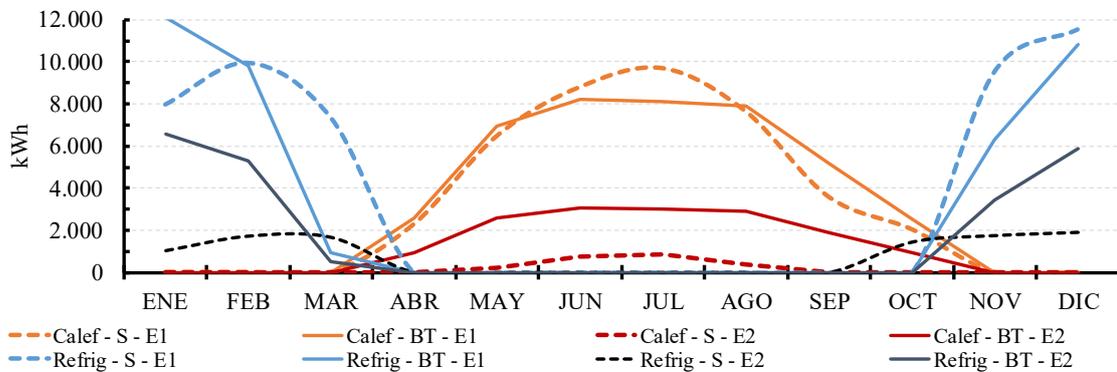


Figura 4 Comparación balance térmico y simulación

### 4.2 Análisis del confort interior en los tres escenarios simulados

La Figura 5 representa la temperatura en el interior de una sala del JMMM, orientada al Ecuador, sin climatización. El E1 (gris) representa la situación actual, y E2 (azul) con medidas de EE muestra significativas mejoras en los meses de invierno, con más de 5°C adicionales en el interior, y alcanzando en gran parte de la jornada condiciones de confort térmico sin climatización. Sin embargo, en verano, el E2 no mejora: la temperatura interior se ve incrementada hasta 2°C por encima de la situación actual, también sin climatización. Esto podría deberse a que la incorporación de aislamiento térmico dificulta la natural disipación nocturna del calor. Finalmente, el E3 (verde) con medidas de eficiencia energética y estrategias de diseño bioclimático, muestra temperaturas en verano son más bajas, y en invierno más altas, con poco desarrollo fuera de la zona de confort térmico representada en amarillo.

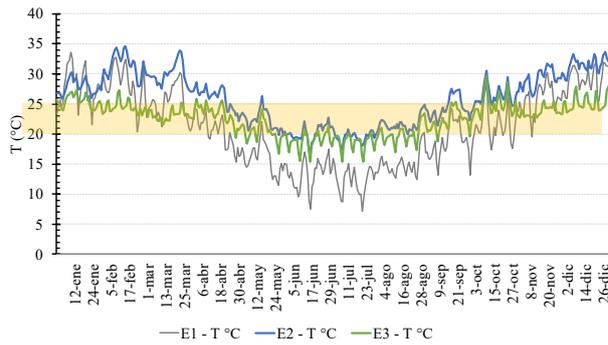


Figura 5. Curva anual de temperatura diaria para los 3 escenarios propuestos: E1, situación actual; E2, mejoras en la envolvente; E3, diseño bioclimático.

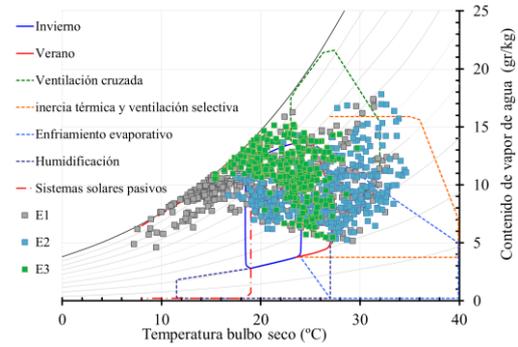


Figura 6. Diagrama psicrométrico de la T y HR simuladas para los 3 escenarios.

El E1 presenta una muestra atomizada, con T entre 7° y 32°C; los marcadores azules (E2) muestran una concentración central, excediéndose sólo hacia la derecha (sobrecalentamiento), y los marcadores verdes (E3) se concentran cerca de la zona de confort, con mayor humedad específica por la humedad proveniente de la vegetación (Figura 6).

### 4.3 Incidencia en la demanda de energía en climatización

Finalmente, se comparan las demandas de energía necesaria para mantener a 20°C las salas del JMMM en las dos alternativas (E2 y E3) de la situación actual (E1).

Tabla 2 Demanda de energía en climatización

Escenario	Calefacción (kWh)	Refrigeración (kWh)	Anual (cal + ref)	Demanda respecto de E1
E1	40.482,3	46.298,0	86.780,3	100%
E2	2.189,9	9534,9	11.724,8	14%
E3	5.261,8	3184,3	8.446,1	10%

La incorporación de aislamiento térmico (E2) impacta en una reducción de la demanda de climatización del 86% (Tabla 2). El agregado de estrategias bioclimáticas mejora esta situación en verano, contribuyendo a la refrigeración natural, pero no así en la calefacción. Esto se debe a que el pergolado interfiere en la ganancia solar directa, y que la masa del equipamiento de hormigón acumula calor sensible demorando el efecto de la calefacción. La Figura 7 muestra la reducción en la demanda de verano y el incremento en invierno.

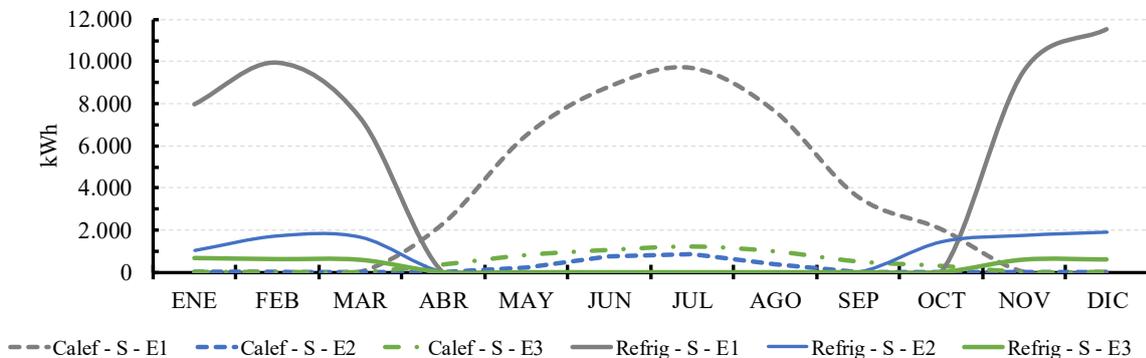


Figura 7. Curvas de demanda de calefacción y refrigeración para los tres escenarios.

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo tiene como objetivos poner en prueba el método de la simulación dinámica comparándolo con el balance térmico en estado estacionario para evaluar la demanda de energía frente a rehabilitaciones energéticas aún no efectuadas; así como valorar el efecto de estrategias de diseño bioclimático.

El modelo logró asimilar los resultados con el balance térmico sólo en el E1, es decir, el edificio sin ninguna intervención. Al incorporar las mejoras de EE que conforman el E2, el modelo predice demandas del 40% inferiores a las indicadas en el balance térmico. Es decir que no es posible determinar cuál es la metodología más simple y fiable, al menos, en esta instancia de la investigación.

Las medidas de EE implementadas en este caso de estudio mejoran sensiblemente el confort en invierno, ya que se obtienen temperaturas de 6 a 8 °C superiores a E1 en los meses de invierno.

En verano la mayor contribución al confort son dadas por las estrategias de diseño bioclimático, ventilación nocturna, inercia térmica y refrescamiento evaporativo, que representan una reducción de 8 a 10°C de temperatura interior en E3 respecto de E2.

El E2 reduce un 86% la demanda teórica respecto de E1, forzando el equipamiento de climatización a 20°C durante todo el año, y el E3 lo reduciría un 90%.

Aunque la EE evaluada desde el punto de vista del confort en condiciones de ventilación natural (sin refrigeración) puede parecer contraproducente, porque muestra un pequeño aumento de la temperatura interior, al estimar la demanda de energía necesaria para mantener 20°C en el interior, se confirma que dicha demanda es inferior a la de E1, debido a la mejor conservación de la energía aportada.

Del mismo modo, el pergolado declina el desempeño de invierno desde el punto de vista del confort, debido a la reducción de la ganancia de radiación solar directa, pero en la evaluación anual prevalece su contribución.

Como conclusión, y a la luz de los resultados de este caso de estudio en Neuquén Argentina, podemos recomendar que al realizar una rehabilitación energética mejorando la eficiencia energética de las envolventes, sean tenidas en cuenta pequeñas intervenciones en el entorno del edificio, como las planteadas en este caso, ya que implican menor costo e impacto, pero contribuyen a mejorar el confort en períodos cálidos.

## REFERENCIAS

- Givoni, B. (1981). *Man, climate and architecture* (2. ed., reprint). Applied Science Publ.
- IRAM. (2002). *IRAM 11601. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Norma. S.I.: Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico de edificios, 91.120.10.*
- LAYHS (2023) Informe Ejecutivo Proyecto EUROCLIMA «Edificios municipales energéticamente eficientes y sustentables» Caso: Jardín Maternal “Mariano Moreno”, Neuquén, Neuquén. <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/2023/06/Informe-Final-Jardin-Mariano-Moreno-Neuquen.pdf>
- Marsh, A. (2018). *Psychrometric Chart*. <https://andrewmarsh.com/software/psychro-chart-web/>
- Palette 2030. (2015). Direct Gain: Glazing [PALETTE® is a project of Architecture 2030]. *2030 Palette*. <http://www.2030palette.org/direct-gain-glazing/>
- Poder Ejecutivo de la Provincia de Neuquén. (2023) Decreto N° 715 / 2023 Programa de Eficiencia Energética Provincial <https://www.energianeuquen.gob.ar/programa-de-eficiencia-energetica-provincial/>
- Poder Legislativo de la Provincia de Neuquén. (2022) Art. 26 de Ley Provincial n° 3365/23 <https://www.economianqn.gob.ar/contenido/file/8804>
- RAMCC. (2018). *EMES Euroclima+*. Red Argentina de Municipios Frente al Cambio Climático. Retrieved August 1, 2023, from <https://ramcc.net/euroclima/>