

Envolvente y comportamiento térmico. Caso de estudio, edificio escolar en San Juan, Argentina

Envelope and thermal behavior. Case study, school building in San Juan, Argentina

DOI: 10.17981/mod.arq.cuc.31.1.2023.06

Article. Fecha de Recepción: 25/5/2023. Fecha de Aceptación: 21/6/2023.

María Guillermina Ré 

Universidad Nacional de San Juan (Argentina)
guillerminare@fau.unsj.edu.ar

Maria Celina Michaux 

Universidad Nacional de San Juan (Argentina)
celinamichaux@fau.unsj.edu.ar

Para citar este artículo:

Ré, M. y Michaux, M. (2023). Envolvente y comportamiento térmico. Caso de estudio, edificio escolar en San Juan, Argentina. *MODULO ARQUITECTURA CUC*, 31, 157–176. <http://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.31.1.2023.06>

Resumen

En los establecimientos escolares, alcanzar condiciones de confort térmico óptimas resulta sustancial, dado que alumnos y docentes permanecen gran parte del día en las aulas, durante el periodo lectivo. El objetivo del trabajo es analizar la incorporación de mejoras constructivas en la envolvente de un edificio escolar que aporten al confort térmico y al ahorro energético. Se desarrolla una investigación aplicada, mediante el estudio de un caso representativo. Primeramente, mediante simulación dinámica se obtiene el diagnóstico inicial del edificio. Seguidamente se analizan los efectos en el confort térmico luego de aplicar las mejoras constructivas en la envolvente edilicia. Los resultados evidencian mejoras en el confort de las aulas, entre un 20.2% y un 27.4% para EF-A4 y entre el 63.1% y 83.3% para EF-A5. Dada la importancia del confort en los edificios escolares, se enfatiza la necesidad de rehabilitar los parámetros que contribuyan directamente con este aspecto.

Palabras clave: Edificio educativo; confort térmico; propiedades térmicas; rehabilitación de envolvente; simulación

Abstract

In schools, achieving optimal thermal comfort conditions is substantial, given that students and teachers spend much of the day in the classroom, during the school period. The objective of the work is to analyze the incorporation of constructive improvements in the envelope of a school building that contribute to thermal comfort and energy savings. Applied research is developed through the study of a representative case. First, through dynamic simulation, the initial diagnosis of the building is obtained. Next, the effects on thermal comfort are analyzed after applying the constructive improvements in the building envelope. The results show improvements in classroom comfort, between 20% and 9% for the EF-A4 and between 63% and 38% for the EF-A5. Given the importance of comfort in school buildings, the need to rehabilitate the parameters that directly contribute to this aspect is emphasized.

Keywords: Educational building; thermal comfort; thermal properties; envelope rehabilitation; simulation

INTRODUCCIÓN

Durante los períodos escolares, los estudiantes pasan aproximadamente, un tercio de su día dentro de las aulas, lo cual se estima que son 20.000 horas en las escuelas, entre niveles primario y secundario (Giuliano Raimondi y Garzón, 2020). Por esto, las condiciones térmicas interiores son trascendentales, considerando su vínculo con el rendimiento académico. Además de su salud, condiciones de habitabilidad y entorno laboral, favorecen un ambiente óptimo para el aprendizaje (Kükrer y Eskin, 2021, Aparicio-Ruiz et al., 2021).

Por el contrario, el malestar térmico es propicio a causar problemas de salud, irritación, reducir la concentración, provocar cansancio y pereza (Shrestha et al., 2021). Además, las temperaturas sobre o por debajo del rango de confort, reducen la motivación para esforzarse en el trabajo (Wargocki y Wyon, 2017).

Las investigaciones realizadas sobre la temática son variadas. Algunas de ellas persiguen el objetivo de mejorar el confort térmico para un hábitat saludable, productivo y cómodo (Nematchoua et al., 2018), dado que la mayor parte de las escuelas no son térmicamente confortables (Shrestha et al., 2021). En efecto, para un edificio educativo, el hecho de proporcionar confort térmico es considerado un criterio de buen diseño (Singh et al., 2019).

Un trabajo realizado en India investiga el confort térmico mientras que evalúa la carga de refrigeración del edificio escolar (Kumar Verma

y Netam, 2020). En Colombia, un estudio de confort térmico en dos escuelas diferentes detectó una alta correlación entre confort y el funcionamiento de la escuela, el comportamiento de los alumnos y el diseño del edificio (Rodríguez et al., 2021). No obstante, también se relaciona con el entorno socioeconómico, la cultura y las vivencias de los alumnos en el hogar (Shrestha et al., 2021). Según Papazoglou et al. (2019), también debe tenerse en cuenta, la calidad del aire interior y la contaminación acústica.

Numerosos trabajos han estudiado la relación entre confort térmico con los parámetros climáticos externos. En el caso de Singh et al. (2019) y Heracleous y Michael (2020) se observa como la temperatura de confort en las aulas presenta alta correlación con la temperatura exterior.

Para lograr confort térmico deben considerarse aquellos criterios vinculados con las características de la envolvente y las especificaciones de diseño de las distintas zonas climáticas (Kükrer y Eskin, 2021). Como es el caso de Moazzen et al. (2021), que analiza el uso de la energía y el impacto ambiental con varias alternativas de envolventes de edificios para diferentes climas.

Asimismo, un estudio que relaciona diez parámetros con el confort térmico muestra que los más significativos son, el espesor de aislamiento en muros, la transmisión de calor de la cubierta, la ganancia de calor en ventanas y la relación ventana-muro (Li et al., 2021). De forma similar, Hwang et al. (2021) busca el equilibrio entre confort térmico interior y el uso de la energía. Para ello el diseño de la envolvente resulta tras-

cidental, ya que afecta al rendimiento térmico de la fachada y al riesgo de sobrecalentamiento.

A nivel nacional, diversos grupos de investigación han realizado aportes en la temática. Un estudio de las condiciones de confort en establecimientos escolares de La Plata, muestra que para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje deberían aplicarse técnicas de retrofit que optimicen los niveles de confort (San Juan et al., 2014). En Santiago del Estero, se propone rehabilitar la envolvente de una escuela rural de carente comportamiento higrotérmico, mediante el control de elementos de sombreado, incorporación de aislaciones térmicas y la mejora en la calidad de las carpinterías (Giuliano Raimondi y Garzón, 2020).

En Chaco, Boutet et al. (2020) realiza un diagnóstico en ocho edificios escolares donde se estudian índices de incomodidad higrotérmica y confort. Los resultados muestran que las aulas con mejores niveles de confort higrotérmico son aquellas con ausencia de ganancia solar directa. En La Pampa, Mazzocco et al. (2017) estudia el comportamiento energético de una escuela de clima templado frío de alta irradiancia y su relocalización en Córdoba.

En San Juan se han realizado diversos estudios en la temática, en Ré et al. (2017) se analiza el comportamiento térmico en dos escuelas con diferentes características constructivas. En Ré et al. (2017a), se evalúa el comportamiento higrotérmico y energético de un edificio escolar representativo y, se estudian los niveles de confort mediante el método Fanger. Mientras que en Ré

et al. (2021), se analiza que, mediante la aplicación de mejoras de eficiencia energética, en un edificio escolar se alcanzan ahorros energéticos de entre 39,7% y 60%.

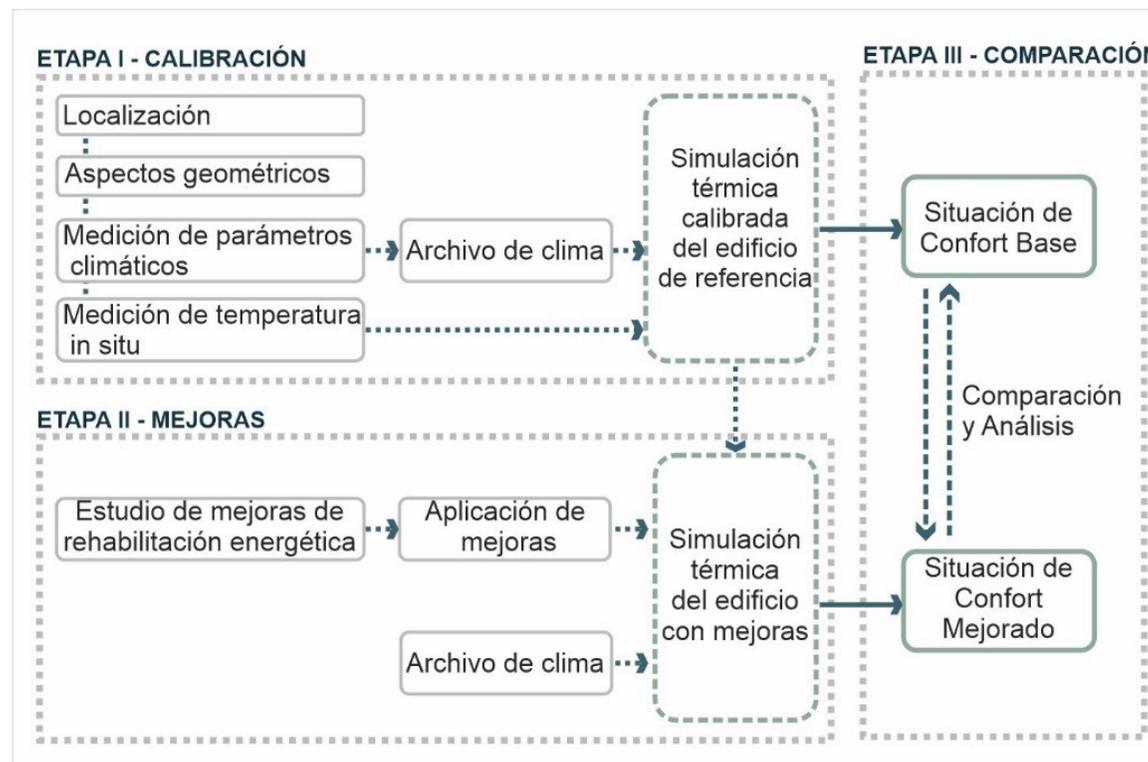
En este contexto, el objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento térmico de un edificio de uso discontinuo, a partir de la incorporación de mejoras constructivas en la envolvente. Se define como pregunta problema; ¿de qué manera la incorporación de mejoras constructivas a la envolvente puede mejorar la condición de confort de un edificio escolar de construcción tradicional localizado en el Área Metropolitana de San Juan (AMSJ)?

METODOLOGÍA

Se trabaja sobre la base de una investigación aplicada, avanzando a través del estudio de caso. Para ello se selecciona un edificio escolar representativo por su organización funcional y tecnología constructiva. La investigación se desarrolla en tres etapas, que permiten alcanzar el objetivo planteado (Figura 1).

Primeramente, mediante simulación dinámica en el software Energy Plus se calibra el modelo, utilizando los datos de mediciones higrotérmicas realizadas al edificio escolar. Las mismas, se llevaron a cabo con instrumentales específicos (data-loggers marca Hobo U8 y U12), que permitieron obtener registros de temperatura y humedad relativa. Las mediciones se realizaron en distintas situaciones de uso y épocas estacionales (Ré et al., 2015, Ré et al., 2017).

FIGURA 1. Esquema metodológico del trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

Esta etapa tiene como objetivo diagnosticar el comportamiento térmico del edificio de referencia, también denominado caso base (Geraldí et al., 2021). El edificio de referencia es aquel donde la envolvente, equipamiento, tipo de uso y patrón de ocupación permanecen en estado original (Attia et al., 2020).

En segundo lugar, se incorporan mejoras de rehabilitación energética desarrolladas en investigaciones previas (Ré y Filippín, 2021, Ré et al., 2021). Las cuales se basan, especialmente, en el aumento de la resistencia térmica en los princi-

pales componentes de la envolvente escolar. Para esta etapa se trabaja con el software Energy Plus y con planillas en Excel.

Por último, se estudian detalladamente los efectos en el confort térmico que producen las propuestas de rehabilitación energética factibles de efectuarse en el edificio escolar. Se utiliza el software SPSS para el análisis estadístico, el software Ecotect para el análisis solar y el software Excel para la organización, clasificación, procesamiento y análisis de datos.

Caracterización Geográfica y Climática

La ciudad de San Juan, ubicada a 640 msnm, con coordenadas geográficas de 31° 32' 13" de latitud sur y 68° 31' 30" de longitud oeste, se caracteriza por su aridez, su clima seco desértico y la escasez de agua superficial (Gobierno de San Juan, 2021). Según la Norma IRAM 11603 (2012), corresponde a la Zona Bioambiental III-a, templada cálida, con amplitudes térmicas diarias y estacionales superiores a 14°C.

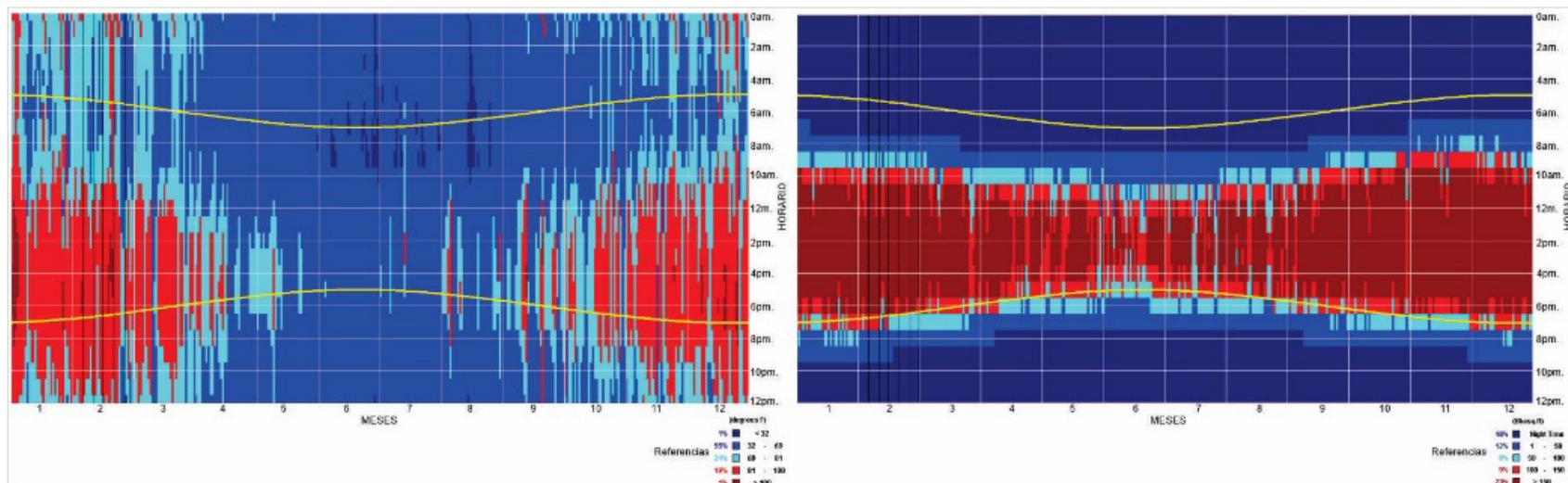
Durante la época estival, las temperaturas medias alcanzan los 26°C y las máximas medias rondan los 33°C. Los inviernos son moderados, con temperaturas medias de 11°C y mínimas medias de 2,7°C (IRAM, 2012) (Figura 2).

Los niveles de radiación solar global diaria incidente sobre plano horizontal son de 7,33 kWh/m², en promedio, de para los meses de octubre a marzo. Mientras que para los meses de abril a septiembre los valores promedio son de 3,95 kWh/m² (Grossi Gallegos y Righini, 2007).

Caso de Estudio

La Escuela Teniente Pedro Nolasco Fonseca (EF) es un establecimiento de educación pública de nivel primario y secundario, construido en 1953 y emplazado en el departamento de Capital, dentro del Área Metropolitana de San Juan (AMSJ) (Figura 3). Dicha institución responde a un prototipo nacional diseñado en el marco del Plan Quinquenal, llevado a cabo en el Gobierno

FIGURA 2.
Temperatura de bulbo seco (izq.) y radiación global horizontal (der.).



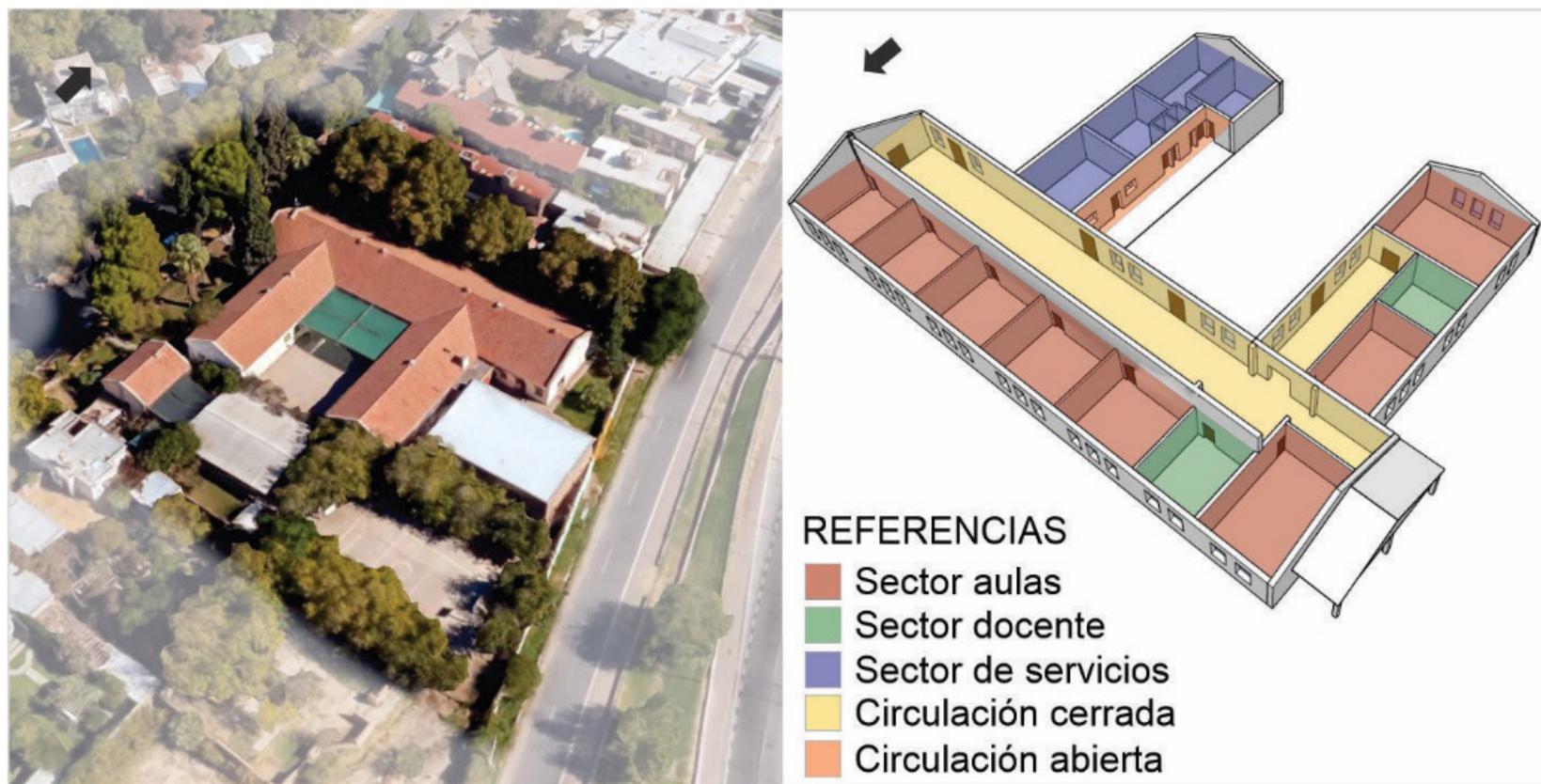
Fuente: Elaboración propia en base al Departamento de Energía de EE. UU. (2021).

de J. D. Perón. La tipología edilicia de la escuela es la Lineal en Peine, característica de la época y fue utilizada en gran parte de las escuelas del país (Ré, Blasco Lucas, et al., 2017).

El edificio se desarrolla en planta baja y posee una superficie útil de 857 m². Cuenta con dos circulaciones cubiertas que comunican las aulas orientadas al Norte y al Oeste. Además, dispone de una galería semi-cubierta que conecta el sector de servicios orientado al Este.

La tecnología constructiva es de muros de mampostería de ladrillo macizo de 34 cm. de espesor y terminación exterior de revoque, enlucido y pintura. El cerramiento superior es un techo a dos aguas con estructura de madera, cubierta de tejas, y cielorraso suspendido. Respecto a las carpinterías, las mismas son de madera con vidrio simple repartido (Ré et al., 2017).

FIGURA 3. *Fonseca vista aérea (izq.) y organización funcional (der.).*



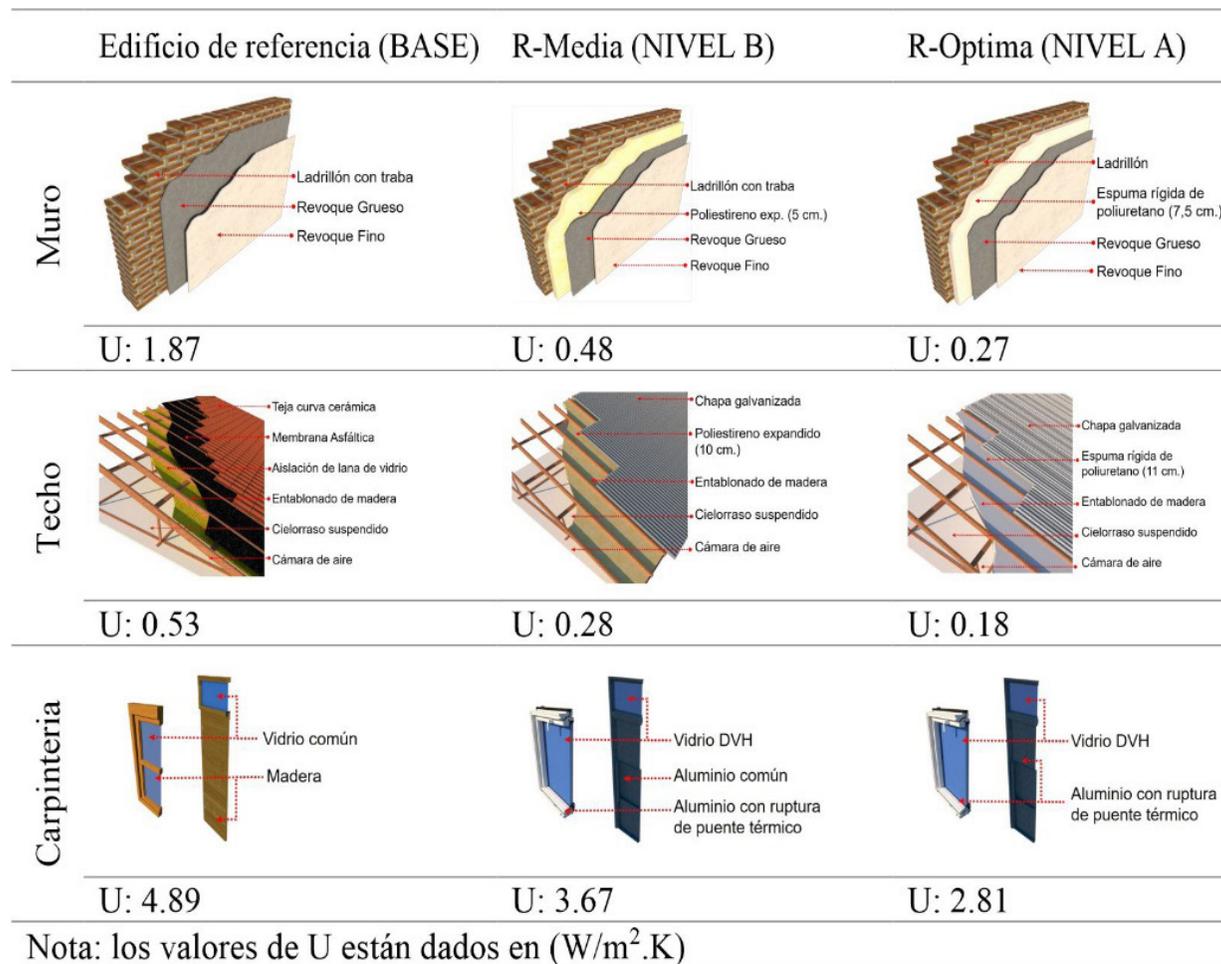
Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth (2022).

Mejoras Constructivas

Para la optimización de la eficiencia energética y de las condiciones de confort térmico del edificio, se elaboran propuestas de mejoras constructivas para la envolvente. Para ello, los elementos renovados individualmente, se organizan en grupos, que permiten elevar los beneficios energéticos y térmicos.

Como se observa en Ré et al. (2021) y Ré y Filippín (2021), las mejoras han sido pensadas en base al contexto tecnológico, socioeconómico y climático local. Lo que las hace factible de aplicarse en edificios educativos existentes de la región. Dichas propuestas se dividen en dos grupos: Rehabilitación Media (R-Media) y Rehabilitación Óptima (R-Óptima). En Figura 4 se

FIGURA 4. *Materiales de las propuestas de rehabilitación y del edificio de referencia.*



Fuente: Elaboración propia.

detalla cada mejora con sus características y los valores de transmitancia térmica.

R-Media incorpora poliuretano (EPS) en muro y techo, mientras que R-Óptima, polietileno (PUR). Estos materiales son adheridos desde el lado exterior de la envolvente, lo que permite mantener el área útil de las aulas y preservar la masa térmica en el interior.

Respecto a las carpinterías, en el caso de R-Media se incorpora doble vidriado hermético (DVH) y en R-Óptima, DVH y ruptura de puente térmico (RPT). Los componentes tecnológicos de R-Media, constituyen un menor ahorro energético y una menor inversión económica que los de R-Óptima (Ré y Filippín, 2021).

Simulación y Calibración Térmica

El período de análisis se aplica a la estación fría, por ser la etapa crítica de climatización de un edificio escolar, dada su mayor frecuencia de uso. En esta estación extrema, el establecimiento requiere de estrategias de mejoramiento (Ré, 2016). Además, con el objetivo de analizar específicamente la envolvente del edificio, se realizó la simulación sin usuarios, y ningún tipo de equipamiento. Para ello, se utilizó el software de código abierto y libre disponibilidad, EnergyPlus (versión 8.9.0) desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (United States Department of the Energy, 2022).

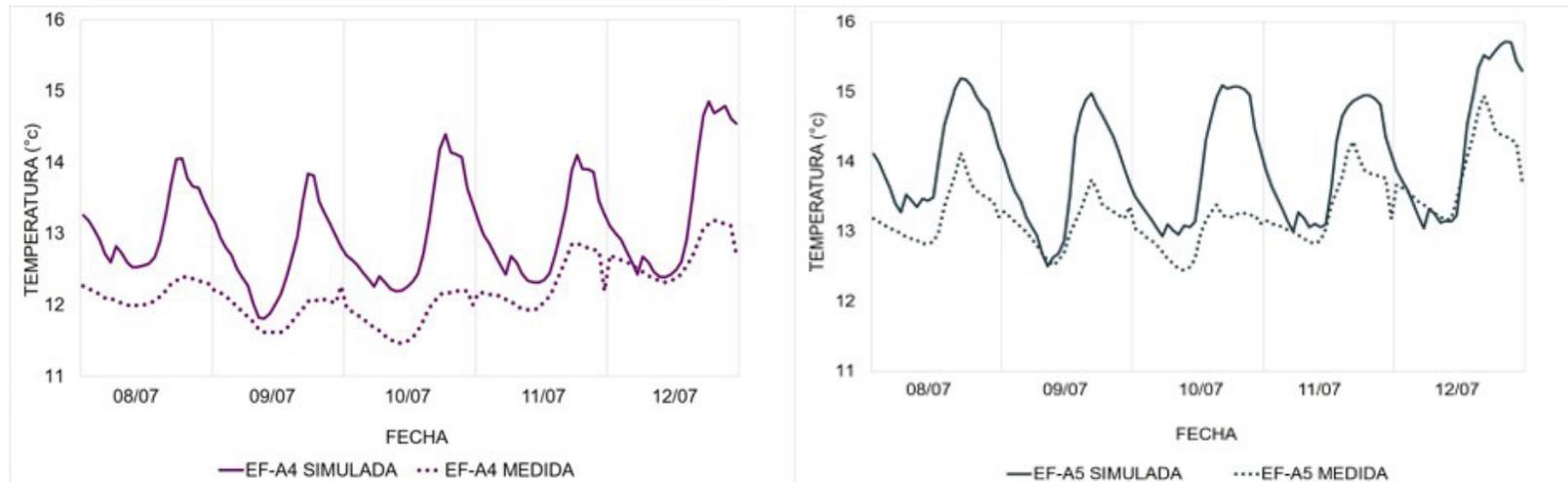
Para que los resultados obtenidos de la simulación sean confiables y válidos, se lleva a cabo la calibración del modelo a partir de datos empíricos. De este modo, se realiza la simulación térmica de las aulas y se utilizan los registros de temperatura interior del establecimiento escolar correspondientes a la auditoría energética de un año tipo (Ré, 2016).

Asimismo, en el proceso de calibración se elaboró un archivo climático propio del año en estudio para un mayor acercamiento a la realidad. El mismo, fue confeccionado a partir de los datos meteorológicos de Energy Plus y datos climáticos obtenidos con una estación meteorológica ubicada en el Instituto de Energía Eléctrica (Pontoriero, 2017). Al archivo climático se le modificaron los valores de tres variables: temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%) y radiación solar (W/m^2).

El ajuste de los resultados obtenidos se realizó al modificar los valores de infiltraciones en las aulas y los valores de conductividad térmica de algunos materiales de la envolvente, entre ellos, ladrillón, revoque, teja, lana de vidrio y hormigón. En base a Godoy Muñoz (2015), estos tres factores corregidos son posibles fuentes de error e interfieren en el proceso de calibración.

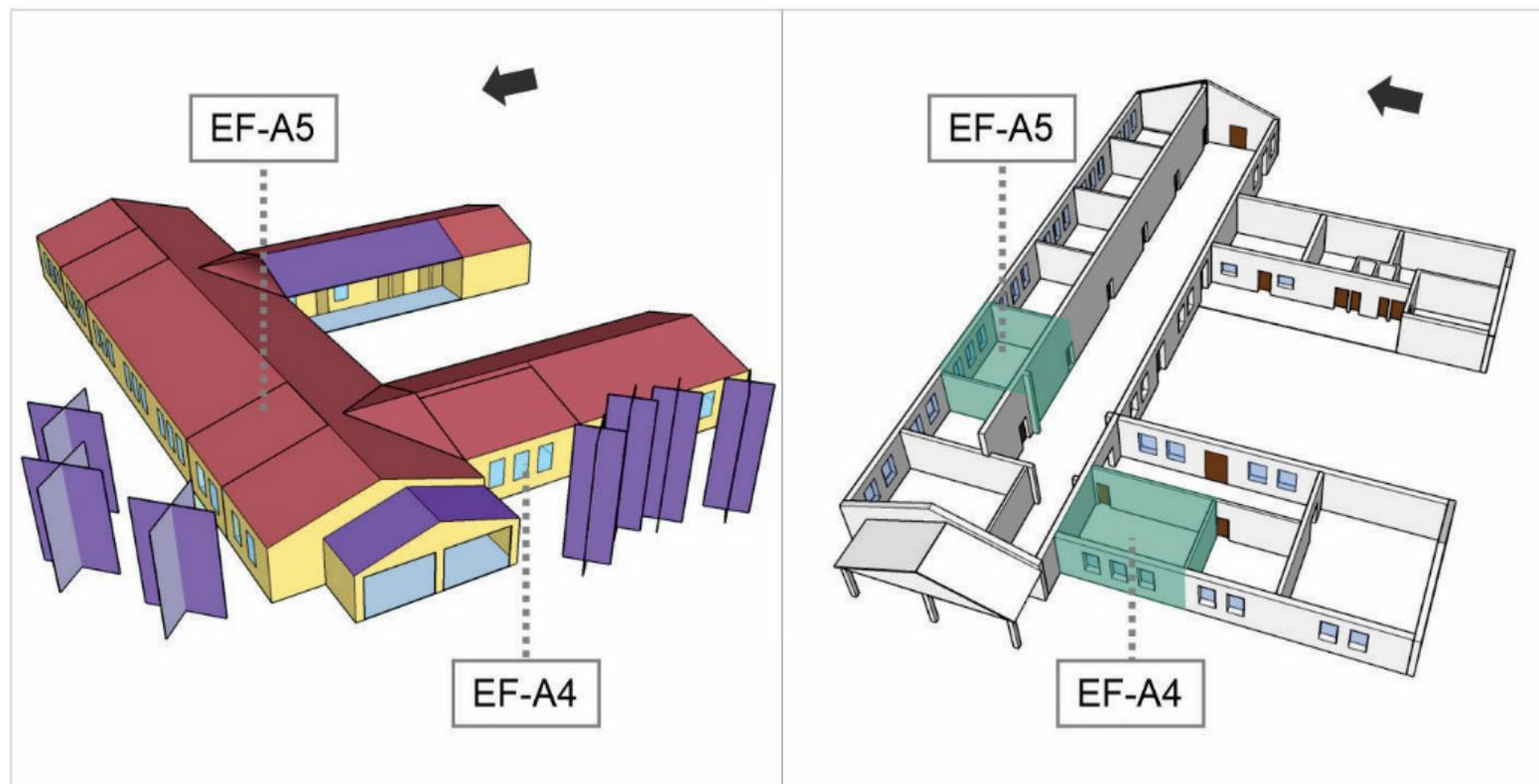
Luego del proceso de calibración las dos aulas con mejores resultados arrojados, en el período de simulación del 08/07 al 12/07 son, la EF-A4 y EF-A5, orientadas al oeste y norte respectivamente (Figura 5 y Figura 6).

FIGURA 5. Calibración de Aulas EF-A4 (izq.) y EF-A5 (der.).



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 6. Aulas en modelado de Energy Plus (izq.) y en Sketchup (der.).



Fuente: Elaboración propia.

En EF-A5 el promedio de los 120 resultados de la simulación (24 valores x 5 días) arroja 0.69 demostrando que en la mayoría de los días la diferencia entre temperatura medida y simulada es menor a 1°C. Para EF-A4 el promedio es ligeramente mayor, 0.84.

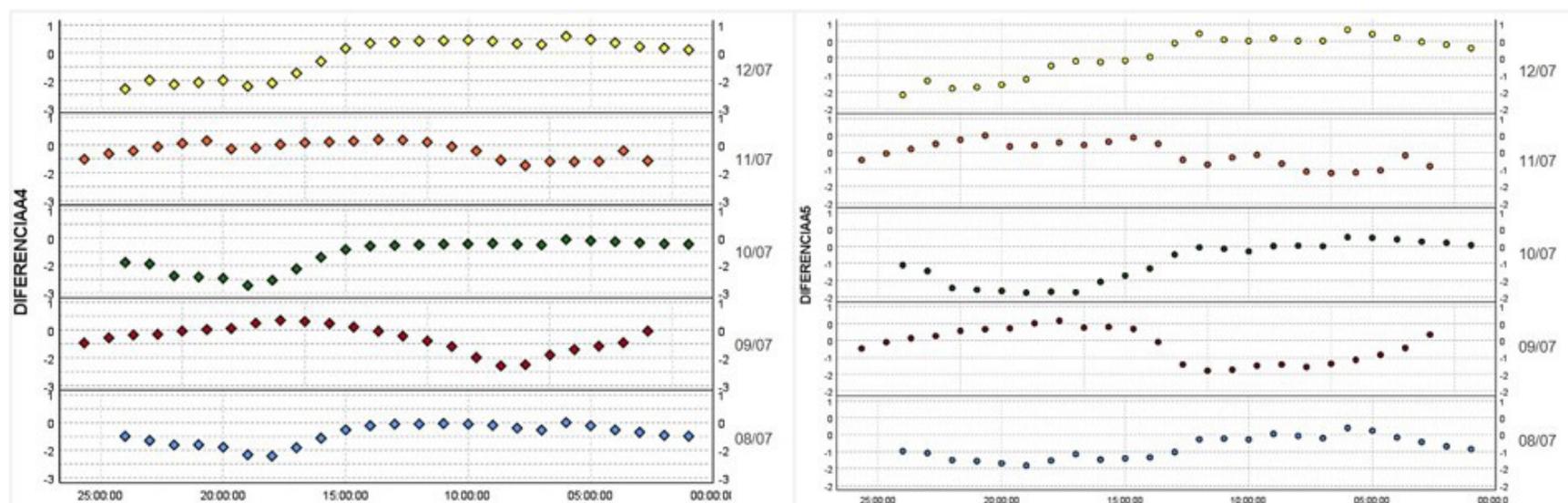
Asimismo, en EF-A5 el mayor valor entre estas dos temperaturas es de 1.87°C y el 67% de los valores presenta una diferencia de menos de 1°C entre lo medido y lo simulado. Mientras que para EF-A4 el mayor valor entre estas dos temperaturas es de 2.2°C y el 65% de los valores presenta una diferencia de menos de 1°C entre medido y simulado (Figura 7). En base a lo expresado en Mercado et al. (2011) y Barea et al. (2011), las aulas de análisis se encuentran calibradas.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

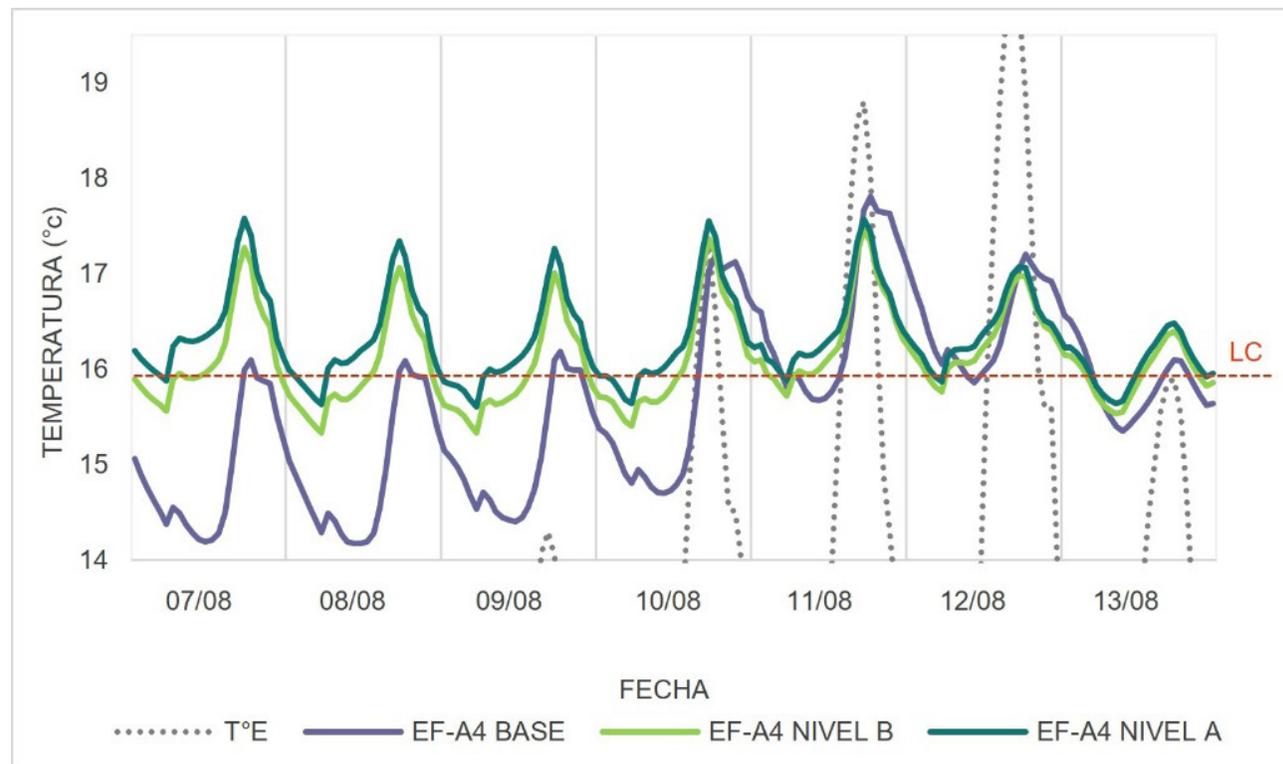
Luego de la calibración del modelo y de la aplicación de mejoras a la envolvente, se toma como etapa de análisis del comportamiento térmico, un período de 7 días corridos, del 07/08 al 13/08. Asimismo, debido a análisis previos, expresados en Ré et al. (2017), se toma como temperatura de confort en los edificios escolares para el período invernal entre los 16°C y 20°C.

La aplicación de mejoras en EF-A4 permitió elevar las temperaturas mínimas 1.4°C (Figura 8) con la aplicación de la R-Optima (Nivel A). Dado que, la temperatura interior mínima en la situación base es de 13.7°C, la misma se eleva a 15.1. A se vez, con la aplicación de la mejora R-Media (Nivel B) el valor alcanzado es de 13,7°C.

FIGURA 7. Diferencia entre datos medidos y simulados para EF-A4 (izq.) y EF-A5 (der.).



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 8. *Temperaturas interiores en EF-A4.*

Fuente: Elaboración propia.

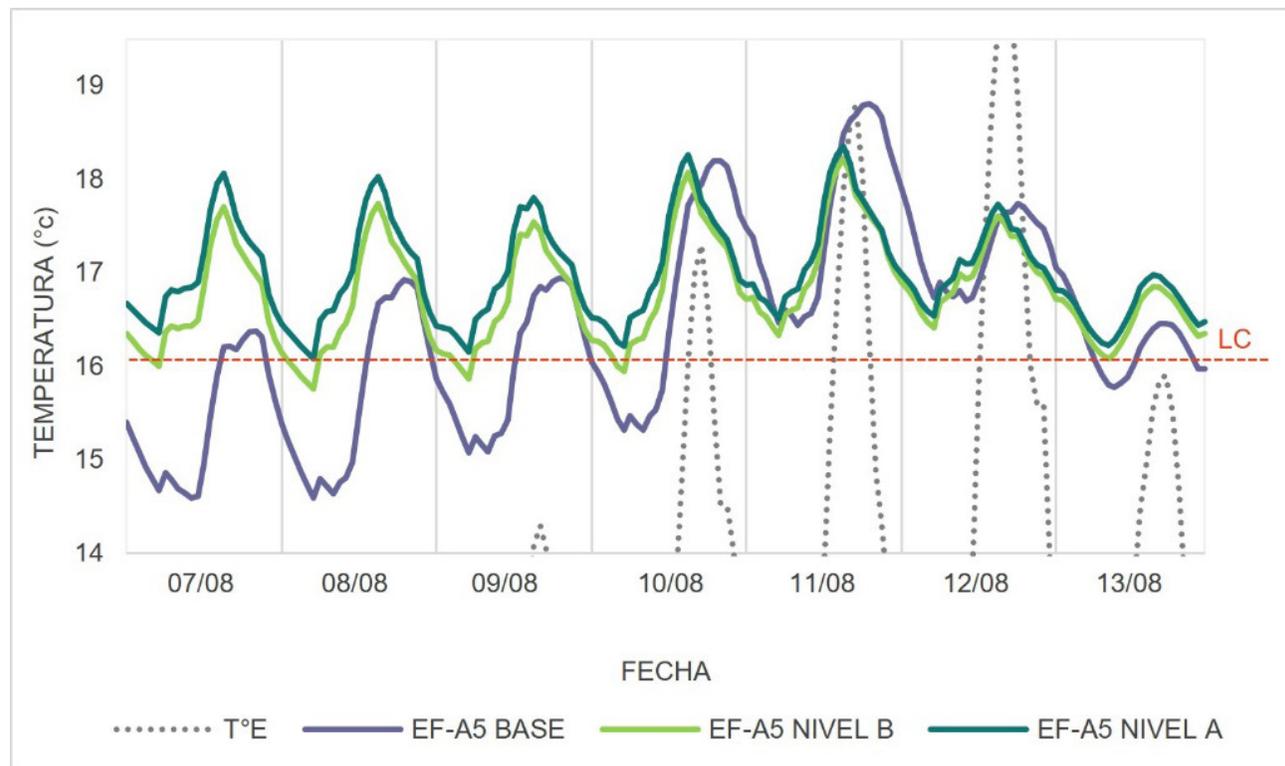
De igual manera, la temperatura promedio sufre un incremento en ambas mejoras.

En EF-A5 la situación es similar, ya que la temperatura mínima pasa de 14.0°C a 15,2°C y a 15,6°C, en las situaciones base, con mejoras Nivel B y Nivel A respectivamente. La temperatura promedio sufre un incremento en ambas mejoras pasando de 15.9°C a 16,5°C (Figura 9). Además, se verifica una notable disminución de las amplitudes térmicas interiores, que resultan en 1.7°C para EF-A4 y en 1.9°C para EF-A5.

Mientras que la amplitud térmica con el exterior aumentó, en sus valores máximos, 1.78°C para EF-A4 y 1.96°C para EF-A5.

De las 168 horas de análisis (24 hs por 7 días), con la aplicación de mejoras Nivel B las horas de confort se incrementaron un 1.8% en EF-A4 y 17.9% en EF-A5 en comparación con la situación base. Mientras que al aplicar las mejoras Nivel A el aumento corresponde a 8.9% en EF-A4 y 38.1% en EF-A5 (Tabla 1).

FIGURA 9. *Temperaturas interiores en EF-A5.*



Fuente: Elaboración propia.

TABLA 1.
Mejora en las horas de confort para EF-A4 y EF-A5

Aulas	Base		Mejora Nivel B			Mejora Nivel A		
	Horas	%	Horas	%	Comparación con base (%)	Horas	%	Comparación con base (%)
EF-A4	31.0	18.5	34.0	20.2	1.8	46	27.4	8.9
EF-A5	76.0	45.2	106.0	63.1	17.9	140	83.3	38.1

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de analizar las horas de confort según el horario escolar (de 7:00 hs. a 18:00 hs.), con un total de 77 horas de análisis, las mejoras en las temperaturas de confort representan un

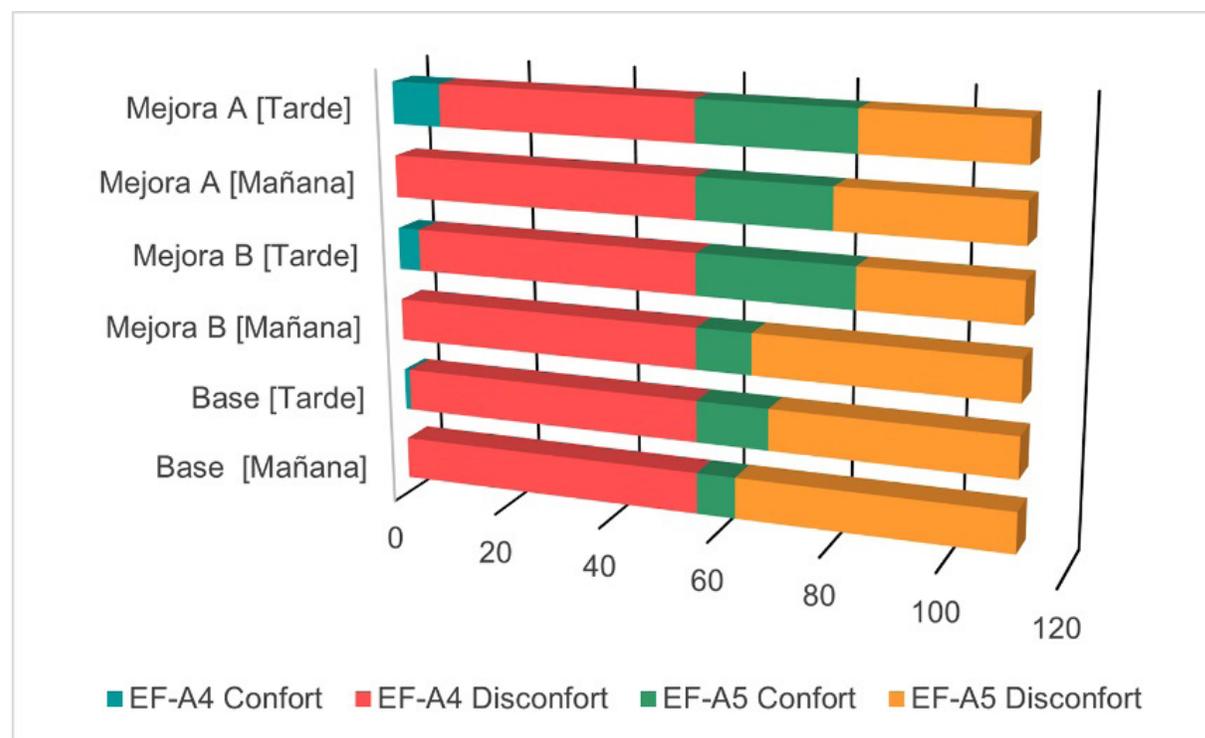
9.1% para EF-A4 en la mejora Nivel B y un 15.6% en la mejora Nivel A. Mientras que para EF-A5, los porcentajes corresponden a 29.9% y 54.5% respectivamente (Tabla 2).

TABLA 2.
Mejora en las horas de confort para EF-A4 y EF-A5 en horario escolar

Aulas	Base		Mejora Nivel B			Mejora Nivel A		
	Horas	%	Horas	%	Comparación con base (%)	Horas	%	Comparación con base (%)
EF-A4	3	3.9	10	13	9.1	15	19.5	15.6
EF-A5	29	37.7	52	67.5	29.9	71	92.2	54.5

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 10. Horas de confort en EF-A4 y EF-A5 según períodos del día.



Fuente: Elaboración propia.

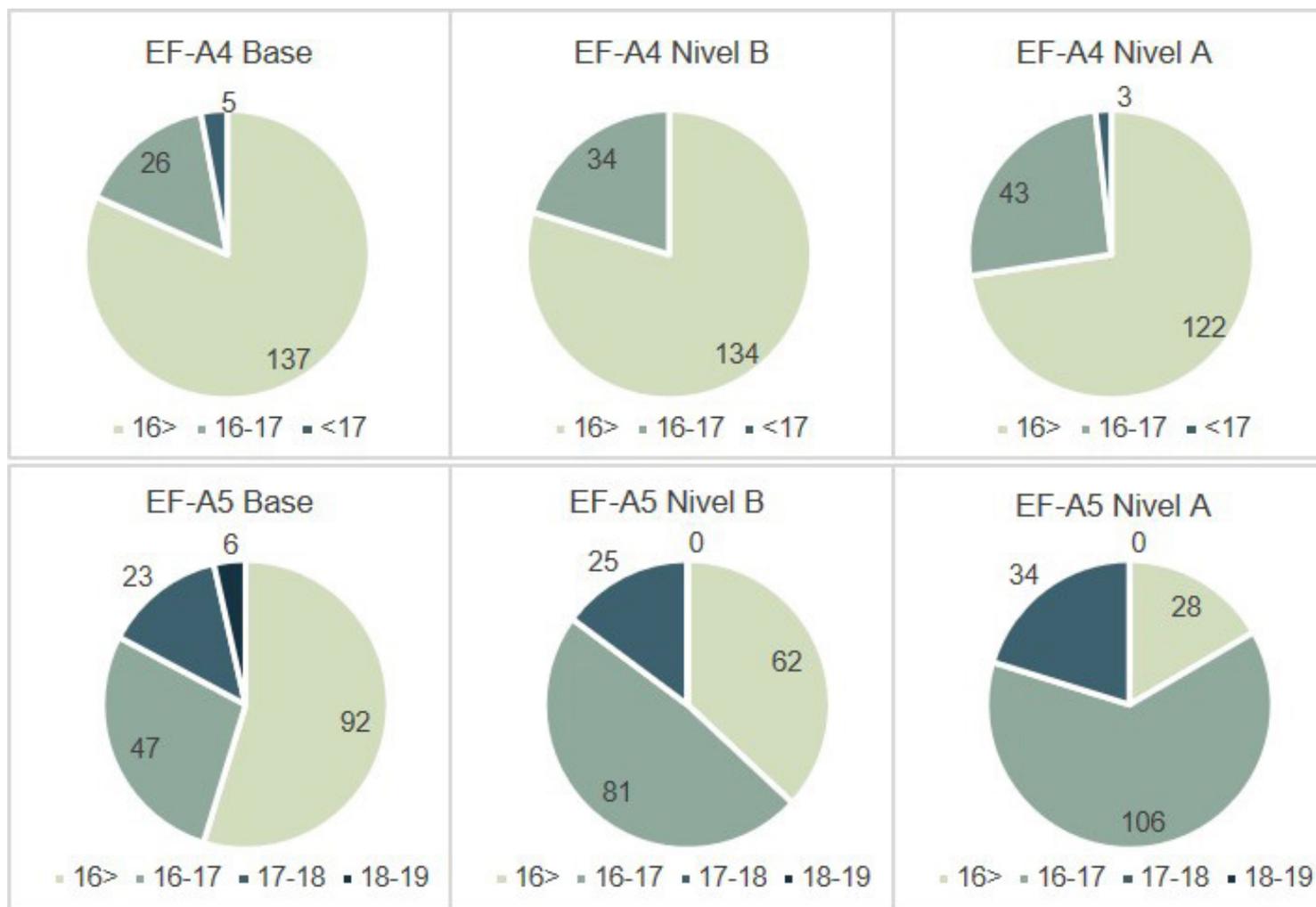
En la misma línea, si se analizan las horas de confort según los períodos del día, considerando el horario de mañana de 8:00 hs. a 12:00 hs. y

el horario de tarde de 13:00 hs. a 17:00 hs. ambas aulas presentan la mayor parte de horas en confort en el período de tarde (Figura 10).

Al analizar la temperatura de confort se observa que, en EF-A4, en los escenarios de mejoras Nivel B, los valores varían entre los 16°C y 17°C mientras que con las mejoras Nivel A algunos valores superan los 17°C. En EF-A5

tanto con las mejoras Nivel B como con las mejoras Nivel A predominan los valores entre 16°C y 17°C, seguidos por valores entre 17°C y 18°C (Figura 11).

FIGURA 11. Estratificación de temperaturas en EF-A4 (arriba) y EF-A5 (abajo).

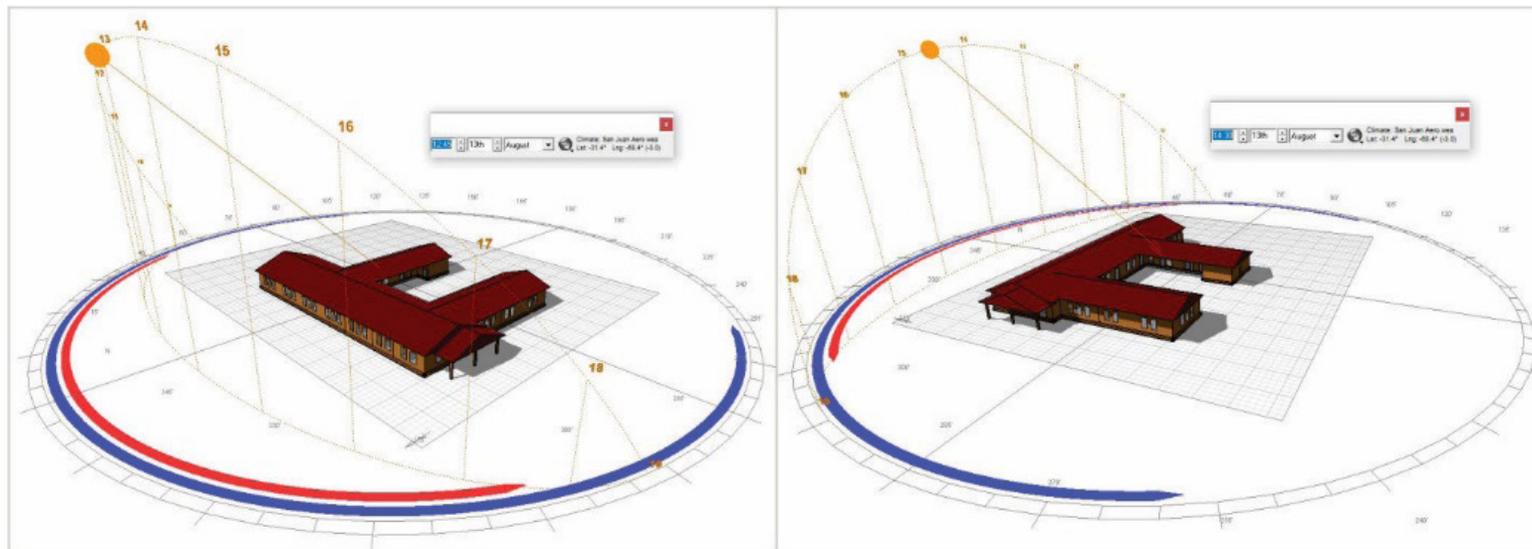


Fuente: Elaboración propia.

Como se ha observado en los resultados previos, las propuestas han generado mejores resultados en EF-A5 que en EF-A4. Sin embargo, ambos espacios poseen características muy similares en cuanto a superficie cubierta, superficie vidriada y superficie expuesta al exterior. EF-A5 posee 23.8 m² expuestos mientras que EF-A4 posee 27.3 m². No obstante, EF-A4 se orienta al oeste, mientras que EF-A5 al norte (Figura 12).

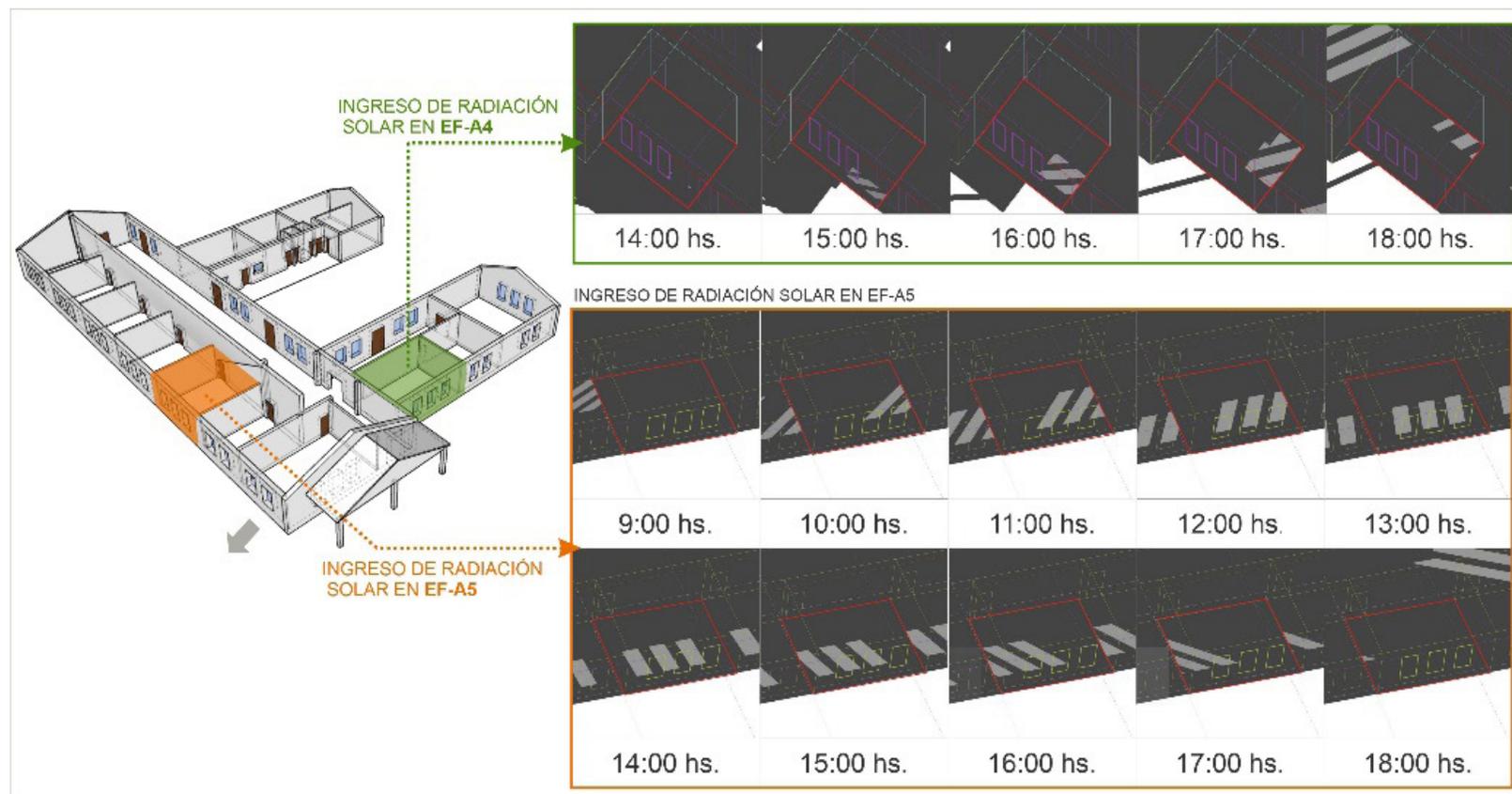
Al analizar de manera detallada el ingreso de radiación solar en el software Ecotec, para el período de análisis, se observa que EF-A5 se encuentra expuesta el doble de tiempo a la radiación (8 horas), comparada con EF-A4 (4 horas) (Figura 13). Esto refuerza lo expresado por Zomorodian et al. (2016) y Elgheznavy y Eltarabily (2021), al indicar que la radiación solar, entre otros factores, influye en el confort térmico de los espacios interiores, especialmente en las zonas de clima cálido.

FIGURA 12. Modelado de la Escuela Teniente Pedro Nolasco Fonseca en Ecotec.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 13. Análisis de asoleamiento en EF-A5 (arriba) y EF-A4 (abajo).



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Luego de aplicar las mejoras y analizar los efectos en el confort térmico en los principales componentes de la envolvente edilicia, se observan que en EF-A4 mejoró el confort en las aulas en un 20.2% y un 27.4% para la mejora Nivel B y Nivel A respectivamente. En el caso de EF-A5 se evidencian mejores resultados, principalmente por la orientación del espacio, dado que la materialidad de la envolvente y las dimensiones

interiores son similares en ambas aulas. Con la mejora Nivel B el incremento fue de 63.1% y 83.3% para las mejoras Nivel A. Esta situación permite reconocer la importancia de considerar la ganancia solar en los cálculos de la demanda energética para calefacción.

En complemento, la calibración del software EnergyPlus a partir de datos empíricos de mediciones higrotérmicas permite contar con un modelo del edificio confiable. Dicho modelo termodinámico podría servir como base de referencia

para el estudio y la rehabilitación de 12 edificios escolares erigidos en el Área Metropolitana de San Juan que responden al mismo prototipo arquitectónico, con similitudes de materialización de la envolvente y configuración funcional. Como trabajos futuros se espera profundizar en el estudio y análisis de la variabilidad de los consumos energéticos escolares al aplicarse las mejoras arquitectónicas aquí vistas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de San Juan y al IRPHa-CONICET, por la contribución en el financiamiento de la investigación en el marco del proyecto CICITCA 2020 (Código A0948). El desarrollo del trabajo forma parte de la Tesis Doctoral de la autora María Guillermina Ré, del Doctorado en Arquitectura de la Universidad de Mendoza.

REFERENCIAS

Aparicio-Ruiz, P., Barbadilla-Martín, E., Guadix, J. y Muñuzuri, J. (2021). A field study on adaptive thermal comfort in Spanish primary classrooms during the summer season. *Building and Environment*, 203, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108089>

Attia, S., Shadmanfar, N. & Ricci, F. (2020). Developing two benchmark models for nearly zero energy schools. *Applied Energy*, 263, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114614>

Barea, G., Esteves, A., Ganem, C. y Flores, S. (2011). Evaluación energética de ventanas multiacimutales en la Ciudad de Mendoza mediante prototipos a escala 1:1 y el programa Energy Plus. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 173-181. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/102129>

Boutet, M., Hernández, A. & Jacobo, G. (2020). Methodology of quantitative analysis and diagnosis of higro-thermal and lighting monitoring for school buildings in a hot-humid mid-latitude climate. *Renewable Energy*, 145, 2463-2476. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.009>

Elgheznawy, D. & Eltarabily, S. (2021). The impact of sun sail-shading strategy on the thermal comfort in school courtyards. *Building and Environment*, 202, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108046>

Geraldi, M., Gnecco, V., Neto, A., Martins, B., Ghisi, E., Fossati, M., Melo, A. & Lamberts, R. (2021). Evaluating the impact of the shape of school reference buildings on bottom-up energy benchmarking. *Journal of Building Engineering*, 43, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103142>

Giuliano, G. y Garzón, B. (2020). Evaluación del confort higrotérmico de una escuela rural y su rediseño, en Silípica-Santiago del Estero. *Pensum*, 6(6), 189-207. <https://doi.org/10.59047/2469.0724.v6.n6.28795>

Gobierno de San Juan. (2021). Caracterización de la Provincia de San Juan. Plan estratégico San Juan. Gobierno de San Juan. Re-

- cuperado a partir de <https://planestrategico.sanjuan.gob.ar/wp-content/uploads/2021/03/Caracterizacion-San-Juan-Version-2021.pdf>
- Godoy, A. (2015). Validación y calibración de la simulación energética de edificios. La importancia del análisis de sensibilidad e incertidumbre [Tesis doctorado]. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado a partir de <https://is.upc.edu/ca/intranet/prs-pts-q1-curs-2014-15/documents/PTGodoyMuozAlfonso.pdf>
- Google Earth. (2022). Vista aérea de la Escuela Teniente Pedro Nolasco Fonseca. Localización 31°31'58" S, 68°33'28" W. [On line]. Google. Disponible <https://earth.google.com/web/@-31.53309912,-68.5574343,662.32955484a,195.44058697d,35y,-47.94748942h,34.09018529t,0r/data=OgMKATA?authuser=0>
- Grossi, H. y Righini, R. (2007). Atlas de energía solar de la República Argentina. 1 ed. SECYT y UNLu. Recuperado a partir de https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/images/b/b6/Atlas_de_energ%C3%ADa_solar_de_la_Rep%C3%ABlica_Argentina_-_Grossi_Gallegos_%26_Righini.pdf
- Heracleous, C. & Michael, A. (2020). Thermal comfort models and perception of users in free-running school buildings of the East-Mediterranean region. *Energy and Buildings*, 215, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109912>
- Hwang, R-L., Huang, A-W. & Chen, W-A. (2021). Considerations on envelope design criteria for hybrid ventilation thermal management of school buildings in hot-humid climates. *Energy Reports*, 7, 5834-5845. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.197>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1996). Norma IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la Republica Argentina. IRAM. Recuperado de http://www.portalhuarpe.com.ar/medhime20/Talleres/TALLERES%20CUIM/Taller%2010/T1002Instalaciones%201/Navegable/NORMAS%20IRAM/IRAM_11603.pdf
- Kükrer, E. & Eskin, N. (2021). Effect of design and operational strategies on thermal comfort and productivity in a multipurpose school building. *Journal of Building Engineering*, 44, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102697>
- Verma, P. & Netam, N. (2020). A case study on thermal comfort analysis of school buildings. *Materials Today: Proceedings*, 28, 2501-2504. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.829> Aparece como Kumar
- Li, Q., Zhang, L., Zhang, L. & Wu, X. (2021). Optimizing energy efficiency and thermal comfort in building green retrofit. *Energy*, 237, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121509>
- Mazzocco, M., Filippín, M. y Flores, S. (2017). Impacto potencial del cambio climático en una escuela solar en Argentina. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 39, 49-60. Recuperado a partir de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/78552>

- Mercado, M., Flores, S., Esteves, A. y Filippín, C. (2011). Utilización del programa Energy-Plus para el análisis del comportamiento térmico del sistema de calefacción solar pasivo en una vivienda social del plan FONAVI. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 51-59. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/102103>
- Moazzen, N., Karagüler, M. & Ashrafiyan, T. (2021). Comprehensive parameters for the definition of nearly zero energy and cost optimal levels considering the life cycle energy and thermal comfort of school buildings. *Energy and Buildings*, 253, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111487>
- Nematchoua, M., Ricciardi, P. & Buratti, C. (2018). Adaptive approach of thermal comfort and correlation between experimental data and mathematical model in some schools and traditional buildings of Madagascar under natural ventilation. *Sustainable Cities and Society*, 41, 666-678. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.029>
- Papazoglou, E., Moustris, K., Nikas, K-S., Nastos, P. & Statharas, J. (2019). Assessment of human thermal comfort perception in a non-air-conditioned school building in Athens, Greece. *Energy Procedia*, 157(2019), 1343-1352. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.299>
- Pontoriero, D. (2017). Banco de datos meteorológicos, 2006 a 2015
- Ré, M. (2016, octubre 19-21). Análisis del comportamiento térmico de dos escuelas de tipología edilicia diferenciada, en el Área Metropolitana de San Juan, Argentina. En: VIII CRETA Congreso Regional de Tecnología de La Arquitectura. Recuperado de: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/arq/article/download/4273/3920>
- Ré, M., Blasco, I. y Filippín, C. (2015). Evaluación del comportamiento térmico de una escuela típica en la ciudad de San Juan, Argentina. En: XXXVIII Reunión de Trabajo de La Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (pp. 35-46). https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/200215/CONICET_Digital_Nro.2cd81325-980c-4b94-9fe9-126c4d5dbc0e_A.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Ré, M., Blasco, I. y Filippín, C. (2017a). Comportamiento higrotérmico y energético en período estival de un edificio escolar típico en la ciudad de San Juan, Argentina. *Estudios Del Hábitat*, 15(2), 1-12. <https://doi.org/10.24215/24226483e028>
- Ré, M. y Filippín, C. (2021). Evaluación energética y rehabilitación de la envolvente edilicia de una escuela en zona bioambiental templada cálida, Argentina. *Informes de La Construcción*, 73(563), 1-11. <https://doi.org/10.3989/IC.79374>
- Ré, M., Filippín, C. y Blasco, I. (2017). Niveles de confort térmico en aulas de dos edificios escolares del Área Metropolitana de San Juan. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 21, 37-48. Disponible <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/140482>
- Ré, M., Mazzocco, M. y Filippín, C. (2021). Mejoras de eficiencia energética en calefacción. Potencial de intervención en edificio escolar

- existente del Área Metropolitana de San Juan, Argentina. *Hábitat Sustentable*, 11(1), 20-31. <https://doi.org/10.22320/07190700.2021.11.01.02>
- Rodríguez, C., Coronado, M. & Medina, J. (2021). Thermal comfort in educational buildings: The Classroom-Comfort-Data method applied to schools in Bogotá, Colombia. *Building and Environment*, 194, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107682>
- San Juan, G. (2014). Aprendizajes en las escuelas del siglo XXI. Nota 5. Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible <https://hdl.handle.net/20.500.12799/4359>
- Shrestha, M., Rijal, H., Kayo, G. & Shukuya, M. (2021). A field investigation on adaptive thermal comfort in school buildings in the temperate climatic region of Nepal. *Building and Environment*, 190(2021), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107523>
- Singh, M., Ooka, R., Rijal, H., Kumar, S., Kumar, A. & Mahapatra, S. (2019). Progress in thermal comfort studies in classrooms over the last 50 years and way forward. *Energy and Buildings*, 188-189, 149-174. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.051>
- EnergyPlus. (2023, september 30). EnergyPlus [on line]. EnergyPlus. Available in <https://energyplus.net/>
- Wargocki, P. & Wyon, D. (2017). Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork. *Building and Environment*, 112, 359-366. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.020>
- Zomorodian, Z., Tahsildoost, M. & Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 895-906. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>
- María Guillermina Ré es Magister. Arquitecta. Investigadora del Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat – CONICET. Directora del proyecto CICITCA A0948. Docente en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan. Doctorado en Arquitectura, Universidad de Mendoza con cursado aprobado y en elaboración de tesis doctoral (San Juan, Argentina). <http://orcid.org/0000-0002-3109-7138>
- Maria Celina Michaux es Arquitecta. Becaria doctoral CONICET. Investigadora del Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat – CONICET. Docente en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan. Doctorado en Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de San Juan con cursado aprobado y en elaboración de tesis doctoral (San Juan, Argentina). <https://orcid.org/0000-0003-0347-6402>