

VALIDACIÓN DE PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN AMBIENTAL DE UN JARDÍN DE INFANTES DE TIPOLOGÍA COMPACTA, EN CLIMA MUY CÁLIDO-HÚMEDO¹

VALIDATION OF PROPOSALS FOR THE ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION OF A COMPACT-TYPE KINDERGARTEN, IN A VERY HOT-HUMID CLIMATE

María Laura Boutet

Doctora en Ciencias Área Energías Renovables, Investigadora Asistente, Docente-Investigadora Categoría III (SPU), Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y del Hábitat Humano (IIDTHH) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Resistencia, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-6313-9577>
arq.mlboutet@gmail.com

Alejandro Luis Hernández

Doctor en Ciencias Área Energías Renovables, Profesor Asociado e Investigador Independiente, Docente-Investigador Categoría I (SPU), Director del Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa). Salta, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-9808-3972>
alejoher65@gmail.com

1 El presente trabajo forma parte del Proyecto "Validación de herramienta de estimación de áreas vidriadas óptimas para el aprovechamiento pasivo de la Energía Solar en Edificios Escolares de Zonas Urbanas de la Región N.E.A.". Se enmarca además, en el Acuerdo de Trabajo suscripto s/ Res. N° 134/21 C.D. FAU entre la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste y el Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco

RESUMEN

El siguiente artículo presenta el procedimiento de validación de propuestas de optimización de un prototipo de jardín de infantes de tipología compacta, según pautas de diseño bioclimáticas pasivas, mediante modelos físicos de simulación dinámica calibrados con mediciones *in situ*. El objetivo es verificar los parámetros de área vidriada (A_v), absorptancia solar promedio ponderada ($\bar{\alpha}$) y área de envolvente total ($A_{\text{envolvente}}$) utilizados como datos de entrada para la obtención de correlaciones de Factores de vidriado (F_v), en una herramienta de estimación de áreas vidriadas óptimas orientada a integrar el confort térmico y visual en el diseño de espacios educativos, en el clima Muy Cálido Húmedo de la Región Nordeste Argentina. Como resultado, se obtuvo una reducción de los requerimientos de refrigeración de hasta el 72% en el mes de noviembre, más desfavorable para la actividad escolar, al bajar la absorptancia solar de las superficies exteriores a 0.25, con una relación de área vidriada por área de piso de 17% que permitió notables mejoras en la distribución espacial de la luz natural, recurso fundamental para el desarrollo integral de los niños del Nivel Inicial.

Palabras clave

energía solar, arquitectura escolar, confort térmico, confort lumínico.

ABSTRACT

This article presents the validation procedure of optimization proposals for a compact-typology kindergarten prototype, following passive bioclimatic design guidelines, using dynamic simulation physical models calibrated with onsite measurements. The objective is to verify the parameters for the glazed area (gA), weighted average solar absorptance (α), and total envelope area (envelopeA), using them as input data to obtain correlations of glazing Factors (gF) into a tool to estimate optimal glazed areas, aiming at integrating thermal and visual comfort in the design of educational spaces, in the Very Hot-Humid climate of the Argentine Northeast. As a result, a reduction of up to 72% was obtained in November, the most unfavorable month for school activities, for cooling requirements, by lowering the solar absorptance of exterior surfaces to 0.25, with a glazed area per floor area ratio of 17%, which made noteworthy improvements possible in the spatial daylight distribution, a key resource for the comprehensive development of children from Initial Schooling Levels.

Keywords

Solar energy, School architecture, Thermal comfort, Light comfort

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios a nivel mundial muestran la relación directa entre la calidad del ambiente interior en un aula y el aprendizaje de los alumnos. En efecto, la temperatura desempeña un papel primordial en el rendimiento académico (Muñoz, 2018), así como la iluminación natural, que es especialmente importante para el desarrollo físico, cognitivo y emocional de los niños, ya que ellos son aún más sensibles a sus efectos dinámicos (Montessori, 1998, Agencia Chilena Eficiencia Energética [Achee], 2012; Yacan, 2014; Monteoliva, Korzeniowski, Ison, Santillán y Pattini, 2016, Pagliero Caro y Piderit Moreno, 2017, Agencia Extremeña de la Energía [AGENEX], 2020).

Sin embargo, hallar el equilibrio entre las condiciones de habitabilidad higrotérmica y lumínica en regiones de clima riguroso no es una meta fácil de alcanzar mediante estrategias de diseño pasivas, más aún en el contexto de cambio climático global, cuyos fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más frecuentes (IPCC, 2019). En dichas zonas, garantizar óptimas condiciones interiores tiene un impacto ambiental directo a niveles de consumo energético y sus consecuentes emisiones de CO₂ a la atmósfera (Baserga, 2020). A ello se suma la situación epidemiológica generada por la pandemia del Covid-19, a raíz de la cual, el asoleamiento, la ventilación e iluminación natural y el distanciamiento social (Cisterna y Abate, 2021) han cobrado fundamental relevancia en las posibilidades de uso de la infraestructura educativa, poniéndose de manifiesto la necesidad de nuevos enfoques, modelos y soluciones desde un abordaje integral.

En esta dirección, numerosas investigaciones (Trebilcock, Soto, Figueroa y Piderit, 2016; Souza, Nogueira, Lima y Leder, 2020; Coronado, Stevenson-Rodríguez y Medina, 2021; Lamberti, Salvadori, Leccese, Fantozzi y Bluysen, 2021; Rupp, Vásquez y Lamberts, 2015) han cuestionado el uso de estándares convencionales de comodidad en las escuelas, ya que fueron desarrollados en base a sujetos adultos cuyas percepciones y preferencias de comodidad pueden diferir de las de los niños en diversas etapas de desarrollo, demostrando la necesidad de una mirada local en el ámbito latinoamericano, no sólo desde los aspectos de ahorro energético y de costos operacionales sino fundamentalmente en relación a variables fisiológicas, psicológicas, sociales y culturales. No obstante, la evaluación del confort térmico en jardines de infantes es un tema reciente y sólo unos pocos trabajos se pueden encontrar en la literatura especializada (Lamberti et al., 2021; Yun et al., 2014; Fabbri, 2013; Nam, Yang, Lee, Park y Sohn, 2015; Zomorodian, Tahsildoost y Hafezi, 2016). Tampoco existen métricas para la evaluación de la iluminación natural destinadas exclusivamente a jardines o espacios infantiles.

Una de las variables de diseño pasivo de edificios educativos, que ha sido y es extensamente estudiada por su impacto tanto en el rendimiento energético como en el confort ambiental integral, es la configuración óptima de las áreas vidriadas en relación al área de envolvente expuesta a la radiación solar, la cual contempla, además, los efectos de la variación aleatoria en la ocupación (Ochoa, Aries, van Loenen y Hensen, 2012; Lartigue, Lasternas y Loftness, 2014; San Juan, 2014; Futrell, Ozelkan y Brentrup, 2015; Mangkuto, Rohmah y Asri, 2016; Capeluto, 2019; Chiesa et al., 2019; Filippín, Flores Larsen y Marek, 2020; Ré y Bianchi, 2020).

En el trabajo de Ochoa et al. (2012), se estudiaron variaciones discretas de la relación ventana-muro, y se concluyó que la mayoría de las expectativas del proyecto se pueden cumplir dentro de una variedad de tamaños, siempre que cuenten con dispositivos de control adicionales. Lartigue et al. (2014), así como Futrell et al. (2015), consideraron, asimismo, el tipo de ventana caracterizado por sus propiedades visuales y térmicas, observando que, dependiendo de la orientación, los objetivos térmicos y de iluminación natural pueden estar en fuerte conflicto. Alwetaishi (2019) analizó el impacto de modificar la proporción de ventana - muro en varias zonas climáticas de Arabia Saudita, recomendando un 10 % en climas cálidos y secos, así como cálidos y húmedos, y un 20% en clima moderado. Pérez y Capeluto (2009), por su parte, testearon un caso base en la zona climática cálida - húmeda, mediante simulación computacional, y recomendaron, para ventanas orientadas al norte y al sur, el 12% de la superficie de piso del aula. Para las orientaciones oeste y este es preferible reducir el tamaño de la ventana al 10% del área del piso, con dispositivos de sombreado dinámico para evitar el deslumbramiento debido a los ángulos solares más bajos. No sólo el tamaño de la ventana, sino también la orientación tiene un gran efecto en la condición interna, siendo la principal responsable en la determinación del grado de exposición solar y, por lo tanto, de ganancia directa de calor (Gasparella, Pernigotto, Cappelletti, Romagnoni y Baggio, 2011, cit. en Alwetaishi, Alzaed, Sonetti, Shrahily y Jalil, 2018).

Atendiendo a la problemática, se presenta el análisis de un caso particular de la ciudad de Resistencia provincia del Chaco, en la Región Nordeste Argentina (NEA), caracterizada por su clima Muy Cálido - Húmedo, a fin de verificar mediante simulación, la pertinencia de las áreas vidriadas propuestas como óptimas, en relación a distintas variables de diseño de su envolvente constructiva. El aporte original de este trabajo radica en el procedimiento de evaluación de cuestiones térmicas y lumínicas simultáneamente, cuyo objetivo consiste en validar una herramienta de estimación de áreas vidriadas por orientación, desarrollada para tipologías escolares de la región NEA y que pueda transferirse a otras regiones geográficas de clima cálido - húmedo.

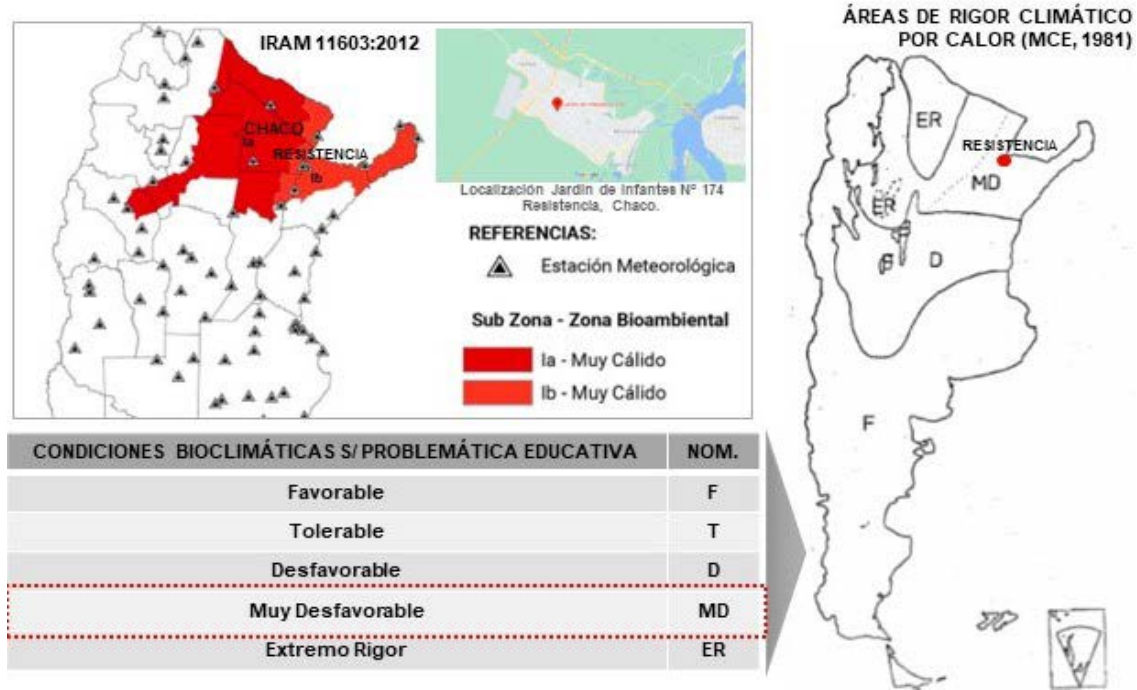


Figura 1. Localización del área de estudio. Fuente: Elaboración de los autores en base a mapas de clasificación bioambiental s/ IRAM 11603:2012 y MCE (1981).

METODOLOGÍA

ANTECEDENTES

De acuerdo a la zonificación bioclimática argentina (Figura 1), según la influencia del clima en la problemática educativa (Ministerio de Cultura y Educación [MCE], 1981), Resistencia (27.45° Lat. Sur; 59.05° Long. Oeste; Alt. 52 msnm) se sitúa en la zona bioclimática “Muy Desfavorable por Calor”, presentando 6 a 8 meses, que abarcan gran parte del período escolar, con temperatura media máxima igual o superior a 28°C y con la influencia de la humedad que agudiza la sensación de malestar por calor. Dicha región corresponde a la Zona bioambiental Ib de clima “Muy Cálido y Húmedo”, según IRAM 11603 (2012), y se caracteriza por amplitudes térmicas menores a 14°C, temperaturas máximas mayores a 34°C y un promedio de irradiación solar global diaria de 5,5 KWh/m² en noviembre (último mes completo del período escolar común), con una heliofanía efectiva promedio de 8 horas (Grossi Gallegos y Righini, 2007).

Asociado a ello, la trama urbana de Resistencia se encuentra a media orientación (45° respecto al Norte verdadero), por lo que las áreas vidriadas de los edificios reciben radiación solar en todas las estaciones del año; áreas que, por cierto, son bloqueadas con cortinas u otros dispositivos que impiden un óptimo aprovechamiento de la luz natural. La normativa vigente (Reglamento General de Construcciones, 1990; Ministerio de Cultura y Educación de la Nación

[MCEN], 1996) no contempla las particularidades del clima y emplazamiento de Resistencia de manera integral, por lo que las decisiones de diseño, en lo que respecta a la determinación de vanos de iluminación y ventilación, quedan supeditadas a valores porcentuales por área de piso, uniformes para cada orientación y sin consideración de la morfología, grado de exposición y materialización de la envolvente de los edificios, ni régimen de ocupación de los mismos.

En respuesta a la problemática planteada, en un estudio previo (Boutet y Hernández, 2020), se formuló una herramienta de Estimación del Factor de Vidriado (Fv) mediante Regresión Lineal Multivariada (RLM) para el cálculo de áreas vidriadas óptimas de edificios escolares de tipología abierta (con dos frentes de iluminación y ventilación; mayor superficie de envolvente expuesta) y compacta (con un solo frente) de los distintos niveles educativos (inicial, primario, secundario y terciario). El Factor de vidriado – Fv (variable dependiente) es un nuevo parámetro definido por los autores que permitió relacionar las variables (independientes) consideradas más significativas por orientación, dada su incidencia en el balance térmico: absortancia solar promedio ponderada ($\bar{\rho}$) de las superficies opacas exteriores, según su color de terminación (implica la fracción de radiación solar incidente que es absorbida por los materiales de la envolvente); área vidriada de puertas y ventanas (A_v); y área total de envolvente opaca y vidriada ($A_{\text{envolvente}}$). Dicha relación se expresa en la siguiente ecuación [Eq. (1)]:

$$F_v = \frac{\bar{\alpha} \cdot A_v}{A_{exp}} \quad (1)$$

Donde, F_v : Factor de Vidriado de cada local por orientación; $\bar{\alpha}$: absorptancia solar promedio ponderada de todas las superficies exteriores; A_v : área total de vidrio en ventanas y puertas expuestas al exterior; A_{exp} : área de fachadas y techos expuestos al exterior descontando A_v . Entonces $A_{exp} = A_{envolvente} - A_v$.

De este factor, se despeja la ecuación para el cálculo del área vidriada óptima, en la que se verifica una relación inversamente proporcional con la absorptancia solar [Eq. (2)]. Cuanto mayor sea el valor de la absorptancia (superficie más oscura), menor será el área de vidrio admisible.

$$A_v = \left(\frac{F_v}{F_v + \bar{\alpha}} \right) A_{envolvente} \quad (2)$$

A partir de este nuevo factor y su determinación en una Propuesta Genérica de optimización, fue posible formular la herramienta propuesta, misma que es resultado del análisis estadístico de simulaciones dinámicas calibradas con mediciones anuales del comportamiento higrotérmico y lumínico de 8 edificios escolares de los distintos niveles educativos, seleccionados por su elevada exposición solar. La Propuesta Genérica verificó las condiciones de habitabilidad necesarias, con la consiguiente reducción de las cargas de climatización entre un 40 y un 60% en promedio (Boutet y Hernández, 2021).

Partiendo de dichos antecedentes, en este trabajo, se planteó realizar una revisión de los datos de entrada utilizados para la obtención de correlaciones de Factores de vidriado (F_v) de la tipología compacta de nivel inicial

(Jardín de Infantes N° 174), seleccionada entre los 8 edificios monitoreados en su oportunidad. Para ello, se verificó mediante simulación, la pertinencia de las áreas vidriadas propuestas para distintos valores de absorptancia solar, en un período del mes de noviembre, por ser esta la época escolar más desfavorable (atmósfera cálida, ganancia solar por ventanas y mayor nivel de actividad), que conlleva situaciones de sobrecalentamiento. La citada revisión permite llevar a cabo una validación preliminar de la metodología de estimación del Factor de Vidriado (F_v), que suscita nuevas situaciones de análisis, lo cual, en definitiva, refuerza estadísticamente su formulación.

PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN

El procedimiento de validación mediante simulación dinámica consistió en los siguientes pasos metodológicos que se presentan en el diagrama de flujos de la Figura 2:

- Revisión de auditorías energéticas**, efectuadas durante el período del 12 al 19 de noviembre de 2012 en el Jardín de Infantes N° 174 mediante adquirentes de datos HOBO MOD. U12-012 (T°C/%HR/Lx) y una Micro Estación ONSET (USA) H21-002 que se instaló en el área urbana donde se localiza el edificio, a fin de recabar condiciones microclimáticas precisas. Esta actividad implicó observaciones objetivas complementarias, encuestas a docentes y autoridades y registro diario de los patrones de comportamiento de los usuarios.
- Validación de modelos físicos**. Con las mediciones, se validaron los datos de temperatura horaria conseguidos mediante SIMEDIF V2.0 (Flores Larsen, 2019) y los datos de iluminancia obtenidos mediante

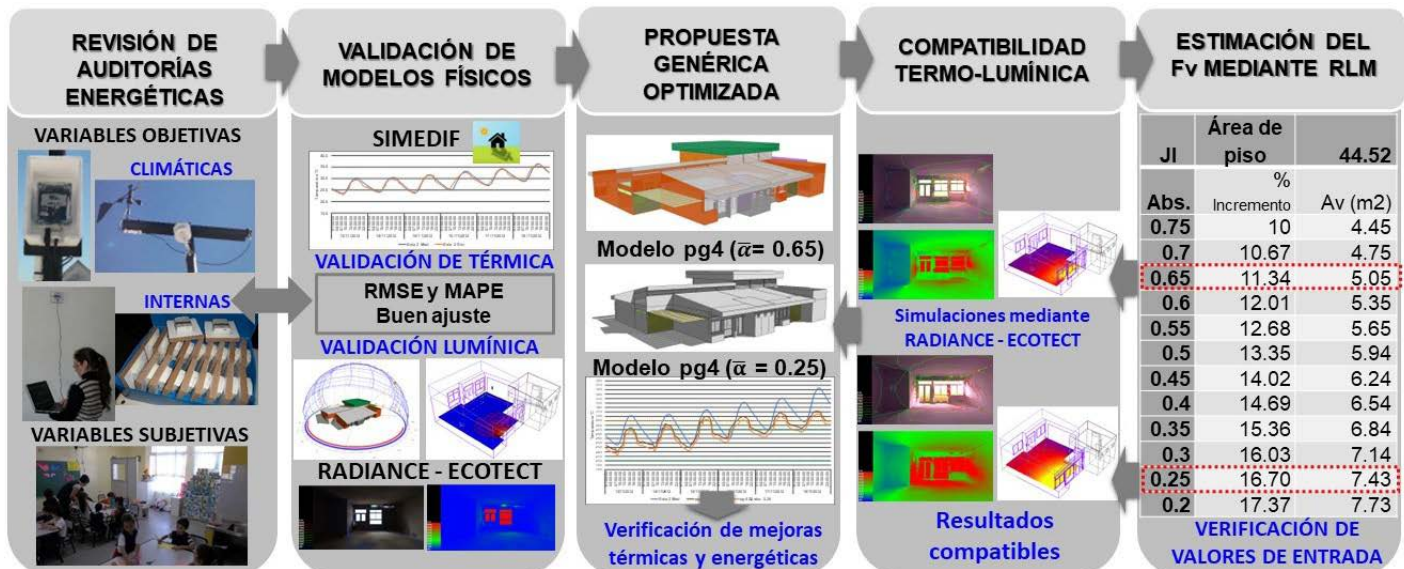


Figura 2. Pasos metodológicos. Fuente: Elaboración de los autores.

la exportación a la interfaz RADIANCE de Autodesk Ecotect Analysis. Se utilizaron dos índices: la Raíz del Error Cuadrático Medio o RMSE (*Root Mean Squared Error*, [Eq. (3)]) que cuantifica la magnitud de desviación entre los valores medidos y simulados en términos de unidades de variables mediante la raíz cuadrada del error cuadrático medio, y el Error Porcentual Absoluto Medio o MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*, [Eq. (4)]) indicador de rendimiento que mide el tamaño del error relativo en términos porcentuales (%).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(x_{med})_i - (x_{sim})_i]^2}{N}} \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|x_{med} - x_{sim}|}{|x_{med}|}}{N} \quad (4)$$

Donde, X_{med} : valores medidos; X_{sim} : valores simulados; y N: número de mediciones.

- c. **Propuesta Genérica Optimizada.** Se utilizaron los modelos obtenidos para simular el comportamiento térmico y lumínico del prototipo, en el mismo período de noviembre, aplicando la Propuesta Genérica Optimizada (Boutet y Hernández, 2021) para distintos valores de absorptancia solar de las superficies exteriores ($\alpha = 0.65$ y 0.25). Se verificó, además, el porcentaje de reducción de las cargas de refrigeración, mediante simulaciones con termostatación en Simedif, estableciendo una temperatura de 25°C . Dicho valor corresponde a la temperatura de confort registrada a partir de los monitoreos y a la que usualmente se regulan los equipos de aire acondicionado en las escuelas.
- d. **Compatibilidad termo-lumínica.** Se relacionaron los promedios totales de iluminancia (lx) calculados mediante Radiance - Ecotect, con su correspondiente temperatura obtenida mediante Simedif, en tres

horarios (9:00, 13:00 y 16:00 h) del día más soleado, a fin de verificar si el bienestar térmico es compatible con una adecuada iluminación natural, según los rangos de confort local establecidos. Como valores de referencia a nivel regional se considera una zona de confort térmico de invierno de 20 a 25°C y una zona de confort de verano de 25 a 29°C . Pero para el análisis estadístico, en base a los valores límites regionales y a la representatividad de las variables medidas durante todo el año de monitoreo, se definió un rango promedio de temperatura de 20 a 27°C y de 35 a 65% de HR; valores que, asimismo, son consistentes con los estándares internacionales (Boutet, Hernández y Jacobo 2020). Para el análisis de iluminancias se consideró el rango de 300 a 500 lx (hasta un máximo de 750 lx), recomendado por las Normas IRAM AADL J-2004 (1974) y MCEN (1996).

- e. **Estimación del Fv mediante Regresión Lineal Multivariada.** Se concluye con la verificación de la pertinencia de los datos de entrada de la herramienta de estimación del Factor de vidriado (Fv) para la Tipología Compacta de Jardín de Infantes, resaltando sus implicancias y la importancia de los hallazgos obtenidos.

DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El Jardín de Infantes N° 174 es un prototipo representativo de la producción oficial de arquitectura escolar ejecutado en la provincia del Chaco, a través del Programa Nacional Más Escuelas. Se localiza en el Barrio San Miguel de Resistencia, en una zona residencial de baja densidad edilicia. Fue puesto en servicio en el año 2010, con una superficie cubierta total de 573 m². Es una tipología compacta con 4 módulos simétricos de aulas de 49 m² integradas de a dos por paneles corredizos, incluyendo SUM semicerrado. Posee superficies expuestas hacia las 4 orientaciones medias, sin barreras solares externas (Figura 3). Se caracteriza por su tecnología tradicional que se describe en la Tabla 1.



Figura 3. Localización del Jardín de Infantes N° 174 y foto de su acceso principal. Fuente: Elaboración de los autores.

Muros	Mampostería portante de ladrillos comunes armados de 0,20 de espesor, vistos al exterior y revocados al interior.	
Techos	De chapa autoportante ventilados (aireadores cada 2 m) sobre estructura metálica con aislación de lana de vidrio con foil de aluminio.	
Cielorrasos	De placas de yeso en locales interiores o aplicado bajo losa en galerías y dependencias de servicios.	
Pisos	Mosaicos graníticos de 30 x 30 cm en interiores y en galerías y de 15 x 15 cm en locales húmedos.	
Aberturas	Cada aula posee 3 aberturas de 1.60 x 1.90 m de marcos de chapa doblada N° 16 y hojas de aluminio con vidrios laminados 3+3 mm, ubicadas una hacia el exterior y dos hacia el interior no expuestas, constituidas por paños corredizos y fijos. Las puertas poseen un paño superior fijo y dos hojas de abrir a batiente, con vidrios laminados 3+3 mm.	
Protecciones	Rejas de seguridad y aleros del techo. Cortinas internas en puertas y ventanas. Parasoles de diferentes dimensiones de chapa doblada N° 16 fijos, de tablillas tipo celosías en el SUM y las galerías.	
Artefactos	Aulas: 5 artefactos fluorescentes de 2 tubos x 36 W y 2 ventiladores industriales de pared. SUM: 9 colgantes industriales para lámpara mezcladora 250 W y 5 ventiladores de pared tipo industrial 30".	

Tabla 1. Características constructivas del JI N° 174. Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 4. Esquema de ventilación natural. Fotos interior y exterior del SUM. JI 174. Fuente: Elaboración de los autores.

Si bien la tipología edilicia estudiada es compacta, los espacios semicerrados (SUM y pasillos) posibilitan la iluminación natural difusa y ventilación cruzada permanente a través de las ventanas interiores y exteriores de las salas. Ello, a su vez, acarrea inconvenientes, como el ingreso de polvo, ventilación e iluminación en horarios de clima desfavorable, problemas acústicos y filtraciones de agua en días de lluvia (Figura 4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

AUDITORÍAS ENERGÉTICAS

El período de monitoreo abarcó ocho días, desde el 12/11/2012 a las 13:00 h hasta el 19/11/2012 a las 13:00 h. Se analizaron dos salas de orientaciones opuestas e iguales características constructivas (Figura 5). La Sala 2 (H18) presentaba dos fachadas expuestas y áreas

vidriadas al Noroeste y la Sala 3 (H19), una fachada expuesta y áreas vidriadas al Sureste. La Sala 2 se ocupaba en el turno mañana (de 8 a 12:45 h), con 24 niños de 3 y 4 años, y la Sala 3, en el turno tarde (de 13:30 a 17:45 h), con 22 niños de 4 y 5 años. También se monitoreó el SUM (H20). Durante la semana hábil se desarrollaron las clases normalmente, excepto los días 15, 16 y 19, en que no hubo clases. Datos proporcionados por la Empresa Facturadora Provincial (SECHEEP) indicaron que el Jardín presentó en el mes de noviembre, un consumo de 909 kWh, siendo éste el más alto del período de primavera.

En las Figuras 6, 7 y 8 se comparan las variables internas y externas medidas en relación a los rangos de confort regional.

La tendencia de la curva de temperatura de la sala 2, responde morfológicamente a los cambios de temperatura exterior, con crestas y valles muy pronunciados, encontrándose la mayor parte del tiempo, fuera del



Figura 5. Izq.: Esquema de monitoreo JI 174. Período 12/11/12 – 19/11/12. Der.: Interiores Sala 2 (Violeta), con ventanas hacia el NO, y Sala 3 (Celeste), con ventanas hacia el SE.

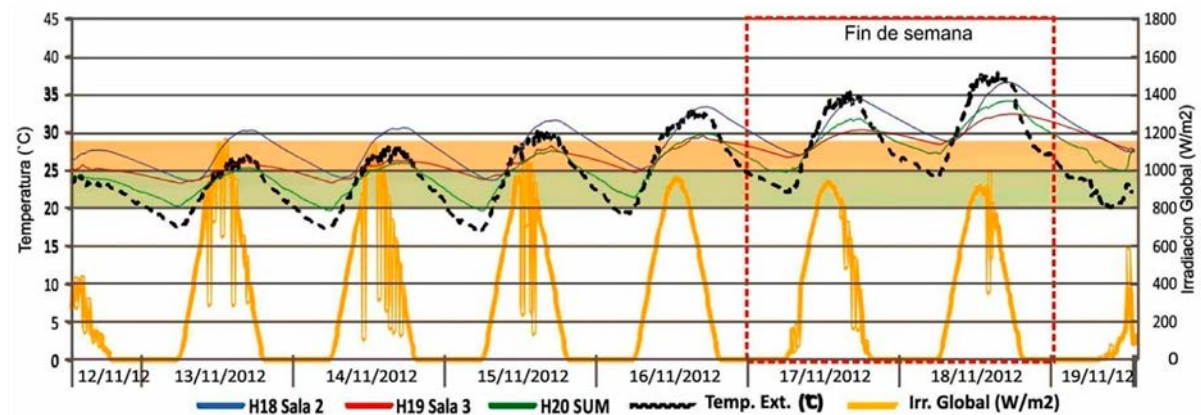


Figura 6. Evolución de temperaturas internas. Aulas JI 174. Período 12/11/12 – 19/11/12. Fuente: Registro de los autores.

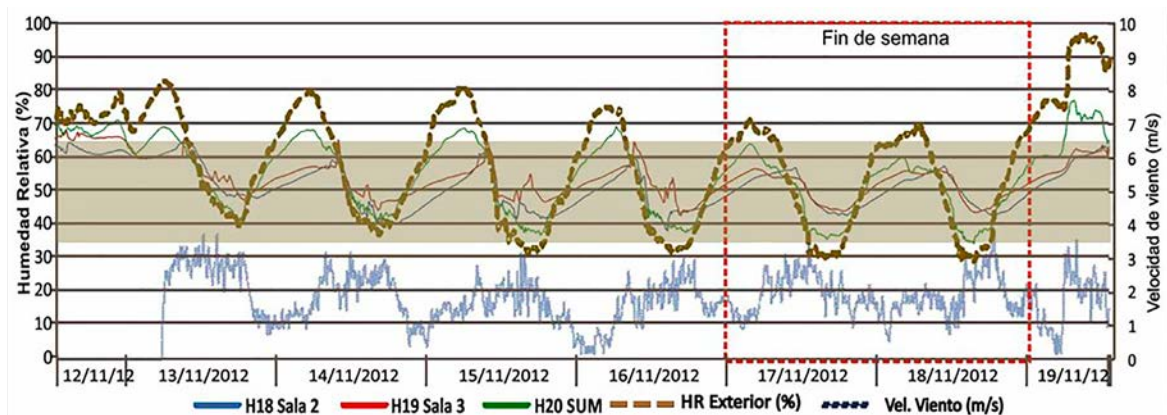


Figura 7. Evolución de humedad relativa. Aulas JI 174. Período 12/11/12 – 19/11/12. Fuente: Registro de los autores.

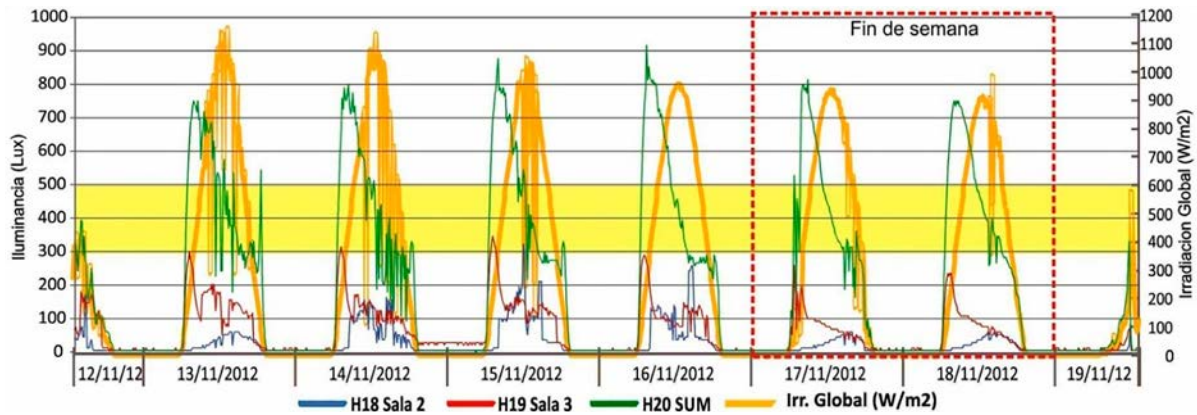


Figura 8. Evolución de iluminancias. Aulas JI 174. Período 12/11/12 – 19/11/12. Fuente: Registro de los autores.

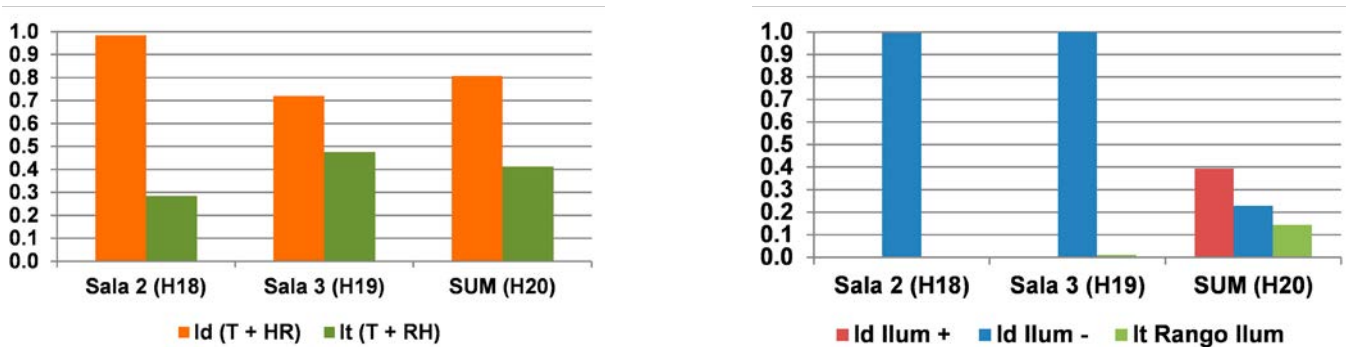


Figura 9. Comparación de índices higrotérmicos combinados (Izq.) e índices lumínicos (Der.) de locales monitoreados JI 174. Período 12/11/2012 – 19/11/2012. Fuente: Elaboración de los autores.

límite superior de confort. A pesar de que el horario de ocupación es de 8 a 12:45 h, dicho desconfort se verifica a partir del mediodía y permanece hasta últimas horas de la noche en los primeros días, y durante las 24 horas, en los tres últimos días de monitoreo. Sus valores promedio fueron 29°C – 50 % HR, 7.4°C de amplitud térmica y 3.3°C de diferencia interior – exterior y una máxima promedio de 32.7°C. Las máximas temperaturas internas se produjeron entre las 16:00 y las 18:00 h, mientras que las máximas iluminancias, entre las 14:00 y las 15:00, por lo que el sobrecalentamiento producido no se debe a ganancias solares directas. Se infiere que el mismo se produce por el efecto combinado de la radiación solar incidente sobre toda la envolvente opaca y vidriada y la temperatura exterior. La curva de la sala 3 tiene un comportamiento más constante, pues recibe luz solar a la mañana, pero es ocupada por la tarde, observándose pequeños aumentos en las horas de ocupación (13:30 a 17:45 h) que perduran hasta la noche. El SUM fluctúa casi acompañando la temperatura exterior, dentro de la banda de confort, excepto en los días más cálidos. La humedad relativa de las salas se mantiene dentro de la zona de confort, pero el SUM excede el límite superior.

Por consiguiente, en el período evaluado, la sala 2 de mayor área de envolvente expuesta, presentó el mayor

índice de desconfort higrotérmico [Id (T+HR)], producto de sobrecalentamiento, pues tiene áreas vidriadas al Noroeste y su fachada Noreste totalmente expuesta a la radiación solar. Por otra parte, ambas salas presentaron los máximos índices de desconfort visual por falta de aprovechamiento de la luz natural [Id Ilum -] (Figura 9). El Id (T+HR), índice de desconfort combinado por temperatura y HR, es un índice relativo entre la situación de desconfort interior y exterior, calculado como el cociente entre dos frecuencias de observables. Su complementario es el It (T+HR), índice temporal de confort. Los índices lumínicos Id Ilum-, índice de desconfort por baja iluminancia, Id Ilum+, índice de desconfort por exceso de iluminancia e It (Rango Ilum), índice temporal de confort visual, se calcularon considerando los rangos de confort visual establecidos, cuando la irradiación solar fuera mayor a 500 W/m2 (valor promedio de días soleados). Su desarrollo teórico puede consultarse en el trabajo de Boutet, Hernández y Jacobo (2020).

RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE MODELOS

En ambos programas de simulación (Simedif V 2.0 y Radiance – Ecotect) se ingresaron los datos meteorológicos medidos en el período considerado y se definieron 17 zonas térmicas (Figura 10), incluyendo

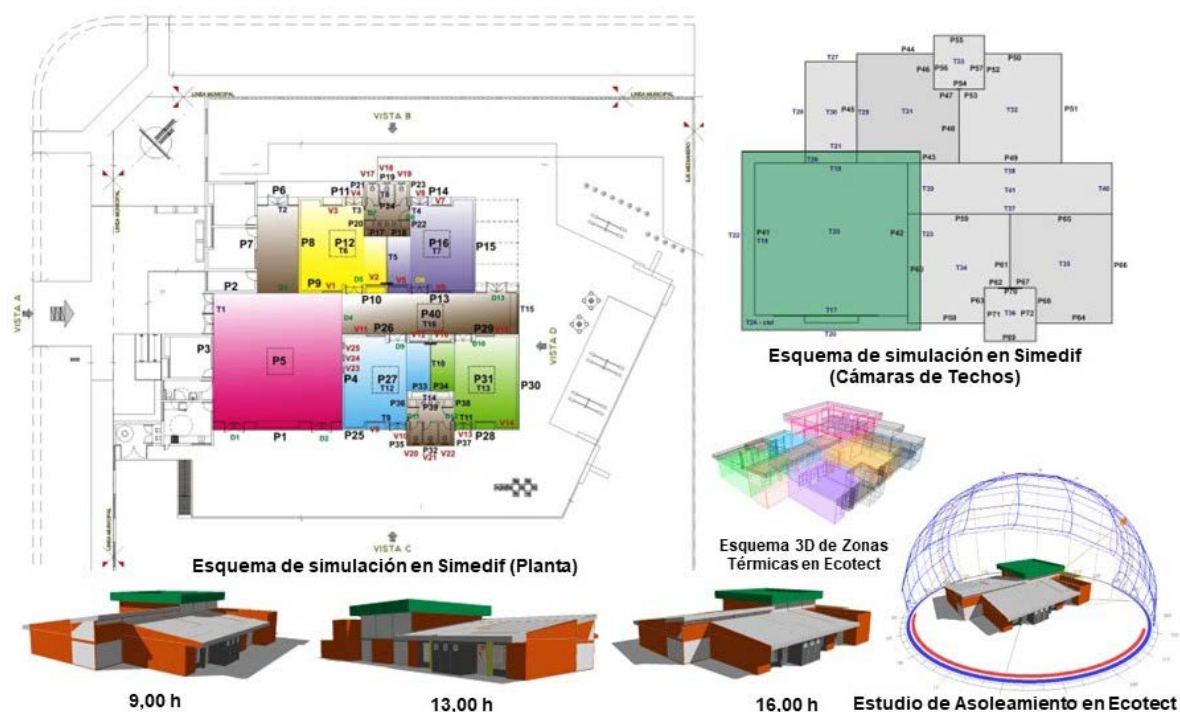


Figura 10. Modelos de Simulación en Simedif y Ecotect. JI 174. Fuente: Elaboración de los autores.

cámaras de aire de techos, con parámetros homogéneos en cuanto a características y propiedades físicas de los componentes opacos y vidriados del edificio.

Modelo Térmico. En el modelo configurado en Simedif, se determinaron 15 días de cálculo previo para alcanzar el estado estable y se especificaron los siguientes parámetros:

Ganancias/pérdidas provenientes de personas con un nivel de actividad moderado y artefactos de climatización, que entregan/extraen calor, estableciendo su potencia, cantidad y período de uso u ocupación.

Renovaciones de aire (horarias; unidad: 1/h): Se diferenciaron para cada día y para cada zona, considerando el ingreso de aire voluntario a través de ventanas, cuyo registro fue de entre 0.5 y 4 durante la noche (sin ocupación) y entre 4 y 10 durante el día (con ocupación).

Materiales y propiedades de los elementos con masa y tabiques livianos: Se establecieron a partir de la lista de materiales disponibles en el programa (basados en las normas IRAM de Argentina). Para otros no disponibles, se utilizaron las propiedades físicas obtenidas a partir de tablas (Incropera y de Witt, 1999) contrastadas con las Normas técnicas IRAM.

Coefficientes globales de transferencia de calor convectivo/radiativo h (W/m² °C): Los coeficientes de transferencia por convección-radiación externos se

definieron considerando la velocidad media de viento y en relación a su impacto en el edificio en estudio. Estos variaron entre 8 y 12 W/m² °C. Los valores internos se obtuvieron de Duffie y Beckman (1991), estableciéndose 6 W/m²°C para superficies no asoleadas; 8 W/m²°C, para superficies asoleadas; y 3 W/m²°C, para la superficie inferior de los cielorrasos (aire estratificado). Para las ventanas se aplicó una transmitancia térmica de 5.8 W/m² °C, en los análisis sin protección solar, y de 2.8 W/m² °C, en los análisis con protección (cortinas internas).

Absortancia solar (valor entre 0 y 1): Se seleccionó en base a las tablas de Incropera y de Witt (1999) y a la ventana de colores proveída por el software, determinándose para los muros de ladrillos vistos un valor de 0.65 y para las superficies de color claro, 0.3.

Áreas asoleadas: En su definición contribuyó el uso del modelo BIM configurado en Ecotect (Figura 10), que permitió obtener los porcentajes de sombra y superficies expuestas a la radiación solar. Las áreas internas irradiadas se establecieron como equivalentes al área del vidriado del local analizado que atraviesa la radiación solar.

Modelo lumínico. Para el análisis de iluminación natural mediante la interfaz Radiance de Ecotect, se definió el tipo de cielo más representativo en relación al momento de la medición *in situ*, utilizando el modelo de CIE (Comisión Internacional de Iluminación). El cálculo de los niveles de iluminación natural (lx) se desplegó en tres horarios, 9:00 h, 13:00 h y 16:00 h del día más soleado (14/11/2012), en una grilla de análisis que se configuró

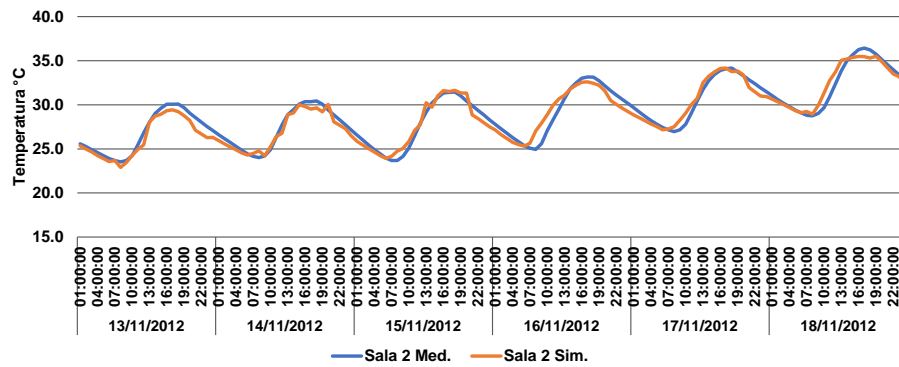


Figura 11. Contrastación de temperaturas medidas y simuladas. Sala 2 JI 174, período 13/11/2012 – 18/11/2012. Fuente: Elaboración de los autores.

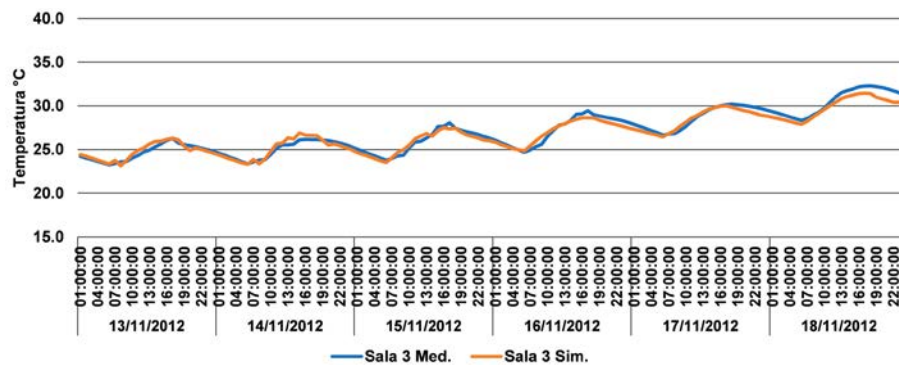


Figura 12. Contrastación de temperaturas medidas y simuladas. Sala 3 JI 174, período 13/11/2012 – 18/11/2012. Fuente: Elaboración de los autores.

JI 174 - NOV.	RMSE (T °c)			MAPE (T %)			
	LOCAL	Per. Completo	Días de clase	Días sin ocup.	Per. Completo	Días de clase	Días sin ocup.
Sala 2 (H18)		0.7	0.7	0.8	2.1	2	2.1
Sala 3 (H19)		0.5	0.4	0.5	1.5	1.2	1.6
SUM (H20)		0.7	0.5	0.8	2.2	1.8	2.4
PROM. TOTALES		0.6	0.5	0.7	1.9	1.7	2.0

Día 14/11/2012		Ilum. Med. (Lx)	Ilum. Sim. (Lx)	RMSE (Lx)	MAPE (%)
Sala 2 (H18)	1 09:00	114	111	17	30
	2 13:00	83	79		
	3 16:00	35	65		
Sala 3 (H19)	1 09:00	99	108	8	6
	2 13:00	130	141		
	3 16:00	99	108		
SUM (H20)	1 09:00	777	931	114	18
	2 13:00	430	552		
	3 16:00	201	211		
PROMEDIOS TOTALES				46	18

Tabla 2. Ajuste entre valores medidos y valores simulados con SIMEDIF. Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 3. Ajuste de iluminancias día 14/11/2012. Fuente: Elaboración de los autores.

para cada aula a la altura del plano de trabajo (0.60 m para los niños). Se establecieron las visualizaciones que representaban la cantidad de luz incidente sobre cada superficie interior, con los valores de iluminancia en "líneas de contorno" y en "falso color". Con el fin de configurar el uso de cortinas internas, se reguló la transmitancia visible de las áreas vidriadas según las distintas situaciones observadas durante el monitoreo. Si bien esto constituye una simplificación, resultó pertinente para el análisis conceptual requerido; aunque se prevé un análisis más minucioso en próximos estudios, para lo cual es recomendable la aplicación de métricas dinámicas anuales, que permitan una mejor caracterización del medio ambiente visual.

Como promedios globales de los locales evaluados, los valores de la Raíz del Error Cuadrático Medio – RMSE (°C) de temperatura de los locales simulados con Simedif muestran desviaciones medias de 0.6 en el período completo de noviembre, 0.5 en los días de clase y 0.7°C en los días sin ocupación. Los promedios totales del Error Porcentual Absoluto Medio – MAPE (%) son de 1.9% en el período completo, de 1.7%, en los días de clase y de 2.0%, en los días sin ocupación. Se verificó en ambos casos un mayor ajuste durante los días de clase (Figuras 11 y 12; Tabla 2).

Las diferencias de los promedios de iluminancias medidos y simulados mediante la interfaz Radiance de Ecotect en el día considerado resultaron en un valor de RMSE de 46 Lx y un valor de MAPE de 18% en promedio (Tabla 3).

Los órdenes de ajuste térmico y lumínico globales hallados demuestran la validez de los modelos físicos realizados en Simedif, empleando como apoyo el programa Ecotect para el análisis solar y de iluminación, lo que permitió proseguir con el testeado de la propuesta genérica optimizada para el caso de estudio.

PROPUESTA GENÉRICA OPTIMIZADA

En el trabajo de Boutet y Hernández (2021), luego del testeado de múltiples propuestas de mejora para los casos auditados y que fueron verificadas para las distintas estaciones del año, se definió una Propuesta Genérica con cinco alternativas y en dos series (terminaciones de colores claros y oscuros), entre las cuales se seleccionó la denominada "pg4", como la más óptima desde el punto de vista técnico-económico y de su comportamiento termo-lumínico, para ser aplicada a los casos de estudio. Los nuevos valores de A_v , y $A_{\text{envolvente}}$ obtenidos en dicha investigación, se utilizaron como datos de entrada de la herramienta de estimación del Factor de Vidriado (Fv) por Regresión Lineal Multivariada (RLM). En esta segunda instancia de la investigación se profundizó el estudio de la propuesta aplicada al Jardín de Infantes N° 174 para verificar su pertinencia, detectando los recursos bioclimáticos potenciales del edificio y especificando las siguientes pautas de diseño:

- **Modificación de las proporciones de áreas vidriadas en ventanas y puertas para dos valores de absorción solar promedio ponderada:** pg4 (= 0.65) con un área vidriada de 5.05 m² y pg4 (= 0.25) con un área vidriada de 7.43 m², extraídos de los datos de entrada correspondientes a la metodología de estimación del Fv (Boutet y Hernández, 2020). De esta manera, la relación de AV/AP (Área vidriada / Área de piso) mejoró de 7.4%, cuando no cumplía el valor de 10% recomendado por el Reglamento de construcciones, a 11.3% en la pg4 (= 0.65) y a 16.7 % en la pg4 (= 0.25) y, por consiguiente, aumentaron los valores de AV/AF (Área vidriada / Área de Fachada) del 20% original a 31 y 46%, respectivamente.
- **Diseño integrado de sus dispositivos de protección solar en diferentes configuraciones geométricas apropiadas para media orientación.** Dado que la geometría edilicia del JI N° 174, con rehundidos y salientes, genera cierto grado de protección solar a los vanos, resultó factible la solución de estantes de luz exteriores (0.50 m de ancho) con terminación reflectiva a lo largo de los paños vidriados superiores (a 2.10 m de altura) y un estante de luz interior (0.40 m de ancho) para mejorar la distribución de la luz natural y disminuir la incidencia directa, sin perder las vistas al exterior. Sólo en casos de incidencia solar directa, se proponen cortinas roller dobles, con la posibilidad de atenuar la luz mediante un paño textil de transmitancia visible media. En la Sala 2 se incorporó un pergolado sobre una estructura existente adosada a la fachada Noreste.
- **Mayor hermeticidad de los espacios de SUM y pasillos mediante un cerramiento translúcido con el sistema de perfiles autoportantes de vidrio Profilit – U glass doble complementado con rejillas de ventilación superior, cerrando así el sistema de vanos con parasoles horizontales fijos que originalmente eran permeables a los agentes climáticos.** Se incorporaron, además, ventanas superiores de proyección con vidrios laminados 3+3 a lo largo del pasillo hacia el Noroeste, aumentando la luz difusa hacia las salas, y ventanas DVH con ruptor de puente térmico en los vanos hacia el exterior.
- **Regulación de las renovaciones de aire (reducción o aumento), según los requerimientos de cada aula, considerando que el tipo de aventanamiento propuesto tiene mayor grado de hermeticidad y posibilita un mejor manejo de la ventilación natural.**

En la Tabla 4 se muestran las variables dimensionales del modelo original de la Sala 2, con áreas vidriadas expuestas al Noroeste, y de las propuestas de mejora desarrolladas para los dos valores de absorción solar.

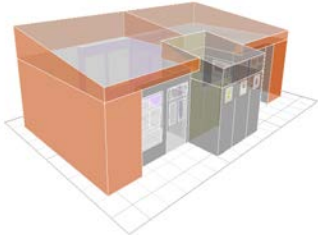

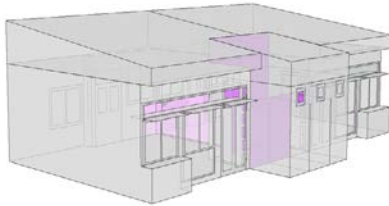
Sala 2 - JI 174	ORIGINAL	pg4 abs. 0.65	pg4 abs. 0.25
DIMENSIONES: Ancho: 7.20 m Largo: 7.20 m Altura: 3.00 m			
SISTEMA DE ABERTURAS FACHADA NOROESTE	Ventana de un paño superior y central de 2 hojas corredizas c/u y un paño inferior fijo. Puerta con un paño vidriado superior fijo y 2 hojas de abrir a batiente con paños vidriados.	Ventana de un paño superior y central de 2 hojas corredizas c/u y un paño inferior fijo. Ventana rehundida de un paño superior y central de 2 hojas corredizas c/u Puerta con un paño superior fijo y 2 hojas de abrir a batiente con vidrios fijos que totalizan 1.53 m ² de Av.	Ventana de 2 hojas corredizas y un paño inferior fijo. Ventana rehundida de 2 hojas corredizas. Paño superior de ventanas a proyección corridas; Puerta con 2 hojas de abrir a batiente con vidrios fijos que totalizan 1.80 m ² de Av.
DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	Aleros y salientes	Estantes de luz exteriores a lo largo de las aberturas superiores de 0.50 m de ancho e interior de 0.40 de ancho; proyecciones de aleros y pergolado lateral.	Estantes de luz exteriores a lo largo de las aberturas superiores de 0.50 m de ancho e interior de 0.40 de ancho; proyecciones de aleros y pergolado lateral.
PROPORCIÓN VANOS (m)	Ventana: Ancho: 1.60; Alto: 1.90 Puerta: Ancho: 1.4; Alto: 2.5	Ventana: Ancho: 1.60; Alto: 1.90 Ventana rehundida Ancho: 1.60; Alto: 1.30 Puerta: Ancho: 1.4; Alto: 2.5	Ventana: Ancho: 1.60; Alto: 1.90 Ventana rehundida Ancho: 1.60; Alto: 1.60 Ventana corrida: Ancho: 5.10; Alto: 0.45 Puerta: Ancho: 1.4; Alto: 2.00
ÁREA EF. DE VIDRIO sin marcos (m ²)	3,29	5,05	7,43
ABSORTANCIA SOLAR PROMEDIO PONDERADA (α)	0,57	0,65	0,25
ÁREA DE ENVOLVENTE TOTAL (Aenvolvente)	124,81	124,81	124,81
ÁREA DE PISO (m ²)	44,52	44,52	44,52
ÁREA DE FACH. (m ²)	16,2	16,2	16,2
AV/AP (%)	7,4	11,3	16,7
AV/AF (%)	20,3	31,2	45,9

Tabla 4. Variables dimensionales del modelo original y de las propuestas de mejora con distintos valores de absorción solar. Fuente: Elaboración de los autores.

DETALLES ILUSTRATIVOS	PROPUESTA GENÉRICA (pg4)	Esp. (m)	Coef. Global de Pérdidas U (W/m ² °C)	U (W/m ² °C) IRAM Nivel Medio
	TECHO Placa autoportante de chapa con aislamiento interior Coeficiente de transmitancia térmica (k) = 0.44 W/m ² °C *Terminación exterior reflectiva.	0.081	0.4	0,45 (IRAM 11605: 1996)
	MURO DOBLE: hoja de ladrillos comunes vistos de 0.12 m de espesor; aislamiento de poliestireno expandido (15 kg/m ³) de 0.03 m de espesor; hoja de ladrillos de 0.12 m de espesor terminado con revoque grueso y fino al interior.	0.30	0.8	1,1 (IRAM 11605: 1996)
	VENTANAS DVH laminado (6+12+6) perfilería de aluminio con RPT (U = 2.85 W/m ² °C). Coeficiente de sombra = 0.72; Transmitancia visible = 0.81; índice de refracción 1.526. * Dispositivos de control y distribución de la luz natural (aleros – estantes de luz)	0.024	2.8	de 2,01 a 3,00 (Nivel Medio K4 IRAM 11507 4: 2010)
	CERRAMIENTOS TRANSLÚCIDOS Profilit / U-Glass doble de 0.40 x 2.60 m y 4 mm de esp. perfilería de aluminio con RPT. Coeficiente de sombra = 0.7; Transmitancia visible = 0.65; índice de refracción 1.526.	0.082	2.8 (día y noche)	

Tabla 5. Propiedades de la Propuesta Genérica del JI 174 ingresadas a Simedif. Fuente: Elaboración de los autores.

- Tratamiento de la envolvente opaca y vidriada mediante soluciones de inercia térmica media de uso conocido en el NEA, siguiendo valores del coeficiente global de pérdidas (U) recomendados por las Normas IRAM 11605: 1996 para verano (situación más desfavorable) en el nivel Medio (B), y las recomendaciones de diseño para la Zona Ib, s/ IRAM 11603: 2012. De esta forma, se calculó para muros, U = 0.8 W/m²°C; para techos, U = 0.4 W/m²°C; y para ventanas, U = 2.8 W/m²°C s/ el nivel medio K4 (de 2.01 a 3.00 W/m²°C) (IRAM 11507 4: 2010). En la Tabla 5 se detalla la propuesta genérica del edificio con sus características ingresadas a Simedif.

medido (Figuras 14 y 15). Con línea punteada verde se indican los límites de confort establecidos para el análisis estadístico (20 - 27 °C) y con línea punteada amarilla, el límite máximo de confort regional (29 °C).

Se observa que las temperaturas de las propuestas se mantienen la mayor parte del tiempo dentro de la zona de confort, estando en mejores condiciones la Sala 3 (Sureste). La Sala 2 (Noroeste), sale de la zona de confort regional entre las 13:00 y las 19:00 h, pero disminuye considerablemente la temperatura con respecto a la situación original medida que, por tener la fachada Noreste totalmente expuesta a la radiación solar, presentaba mayores ganancias.

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES TERMO-ENERGÉTICAS

Para cada aula analizada se graficó la evolución de temperaturas de las respectivas propuestas simuladas mediante Simedif, obtenidas en el período de monitoreo de noviembre, comparándolas con las del edificio original

Comparando la situación original con los resultados de la propuesta de mejora pg4 (= 0.25) que se considera como óptima, se obtuvieron las siguientes mejoras térmicas en el período de noviembre analizado: partiendo de una temperatura máxima absoluta medida de 36.4°C y una temperatura promedio de 29.0°C en la Sala 2, se consiguió una reducción de 5.9°C y de 3.0°C, respectivamente.

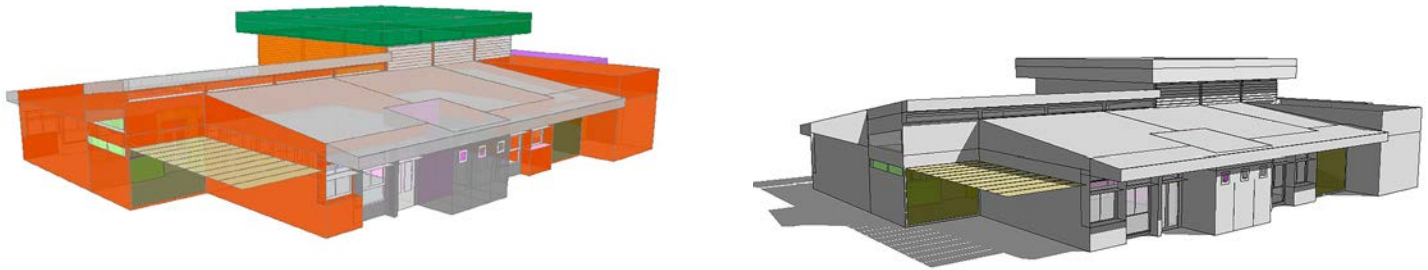


Figura 13. Izq. Modelo pg4 (= 0.65) – Der. Modelo pg4 (= 0.25). Fuente: Elaboración de los autores.

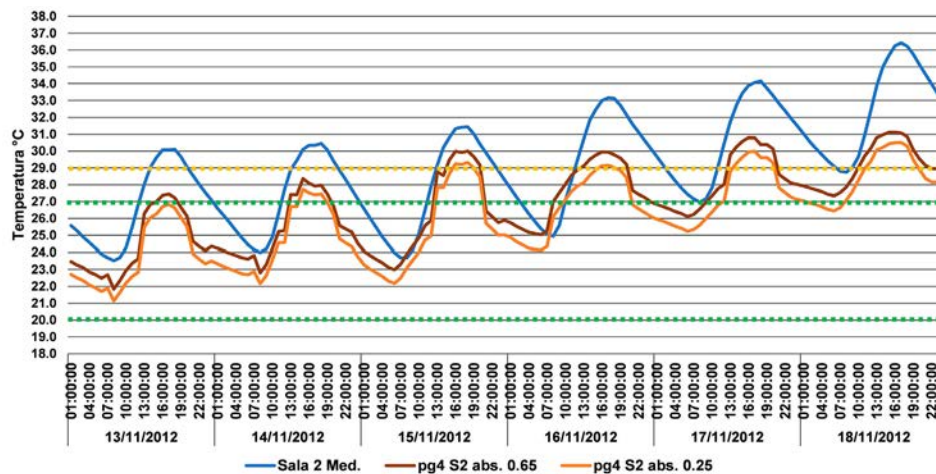


Figura 14. Evolución de temperaturas simuladas con las propuestas genéricas (pg4) en contraste con la temperatura medida (Sala 2). Fuente: Elaboración de los autores.

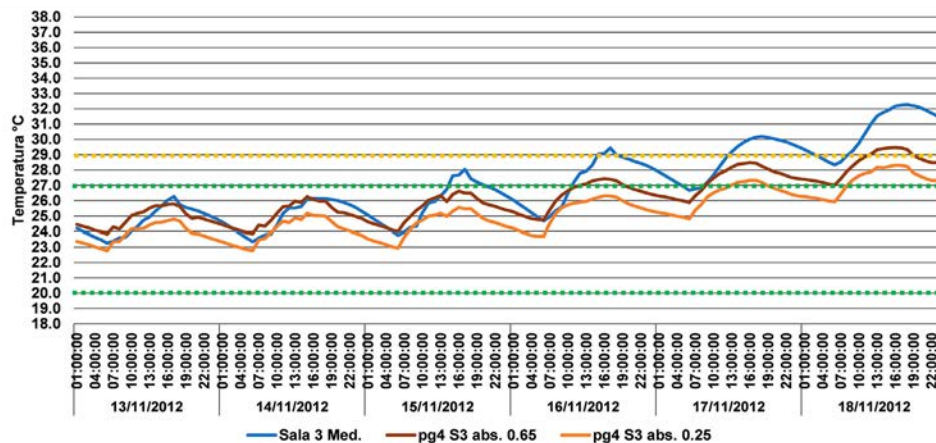


Figura 15. Evolución de temperaturas simuladas con las propuestas genéricas (pg4) en contraste con la temperatura medida (Sala 3). Fuente: Elaboración de los autores.

Partiendo de una temperatura máxima absoluta medida 32.3°C y una temperatura promedio de 27.0°C en la Sala 3, se consiguió una reducción de 4.0°C y 1.8°C, respectivamente (Tabla 6).

Dichas mejoras de las temperaturas interiores se reflejaron en una drástica disminución de las cargas de refrigeración en ambas propuestas, verificadas mediante

simulaciones con termostatación (25°C) en Simedif, como así también de las horas de desconfort en que se requiere acondicionamiento. En la Tabla 7 se comparan los requerimientos máximos para refrigeración de ambas propuestas con respecto al modelo original simulado, apreciándose una reducción de 72% para la sala 2 y de 51% para la sala 3 con la propuesta pg4 (= 0.25). Se comprueba la notable mejoría obtenida en Sala 2,

		Temp. Medida (°C)	pg4 S2 - 0.65 (°C)	pg4 S2 - 0.25 (°C)	Dif. pg4 - 0.65 (°C)	Dif. pg4 - 0.25 (°C)
SALA 2	MÁXIMA	36.4	31.1	30.5	5.3	5.9
	PROMEDIO	29.0	26.9	26.1	2.2	3.0
SALA 3	MÁXIMA	32.3	29.5	28.3	2.8	4.0
	PROMEDIO	27.0	26.2	25.2	0.7	1.8

Tabla 6. Comparación de temperaturas máximas y promedio medidas y de propuestas simuladas. Fuente: Elaboración de los autores.

LOCALES	Orientac. de Av	Original (W)	pg4 0.65 (W)	pg4 0.25 (W)	Diferencia (Original - pg4 0.65)	Diferencia (Original - pg4 0.25)	% de Reducción pg4 0.65	% de Reducción pg4 0.25
SALA 2	NO	10600	3084	2985	7516	7614	71	72
SALA 3	SE	2740	1455	1331	1285	1410	47	51

Tabla 7. Reducción de cargas de refrigeración, período noviembre. Fuente: Elaboración de los autores.

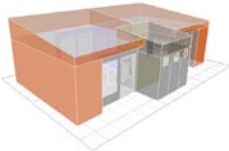
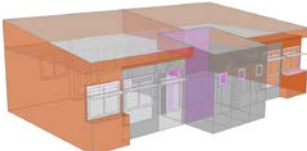
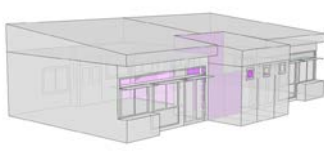
JI 174 NOVIEMBRE						
	MEDIDA		pg4 abs. 0.65		pg4 abs. 0.25	
PROMEDIOS	Ilum. (Lux)	Temp. (°C)	Ilum. (Lux)	Temp. (°C)	Ilum. (Lux)	Temp. (°C)
Sala 2	77	27,8	487	26,3	599	25,6
Sala 3	109	25,2	557	25,6	572	24,6
RANGOS	Ilum. (Lux)	Temp. (°C)	Ilum. (Lux)	Temp. (°C)	Ilum. (Lux)	Temp. (°C)
Sala 2, 9:00 h.	114	24,2	476	23,3	563	22,6
Sala 2, 13:00 h.	201	28,9	551	27,4	648	26,7
Sala 2, 16:00 h.	319	30,3	433	28,1	585	27,5
Sala 3, 9:00 h.	99	23,8	610	24,7	564	23,9
Sala 3, 13:00 h.	130	25,5	596	26,0	630	24,9
Sala 3, 16:00 h.	99	26,2	466	26,1	523	25,0

Tabla 8. Resultados comparativos de simulaciones termo-lumínicas (14/11/2012) en promedio y por rangos horarios. Fuente: Elaboración de los autores.

al reducirse el área de envolvente opaca expuesta y la absorción solar de las superficies exteriores.

COMPATIBILIDAD TERMO-LUMÍNICA DE RESULTADOS

Al analizar la compatibilidad termo-lumínica en los tres horarios evaluados (9:00, 13:00 y 16:00) en el día más soleado, 14/11/2012 (Tabla 8), se advierte que mediante las propuestas de mejora se verificó el incremento de los promedios de iluminancia con respecto al modelo

original que no alcanzaba los valores mínimos. La pg4 (= 0.65) ingresa a la zona de confort termo-lumínico (entre 20°C y 27°C y de 300 a 500 lux), mientras que la pg4 (= 0.25) excede levemente el límite de confort visual dado el mayor porcentaje de AV/AP, aunque sin salir de la zona de confort térmico. Si bien ello no generaría problemas de deslumbramiento, ya que se admite un máximo de iluminancia de 750 lx, los valores podrían corregirse a través del uso de cortinas internas translúcidas en los horarios de mayor incidencia solar. A modo de ejemplo, en la Tabla 9 se exponen las visualizaciones obtenidas

MODELO ORIGINAL	MEJORADO pg4 abs. 0.65	MEJORADO pg4 abs. 0.25
Ilum. = 114 lx	Ilum. = 476 lx	Ilum. = 585 lx

Tabla 9. Resultados comparativos de simulaciones termo-lumínicas en promedio – Sala 2 (Día 14/11/2012 – 16:00 h). Fuente: Elaboración de los autores.

para el modelo de la Sala 2 original y los mejorados, en el día más soleado, 14/11/2012 a las 16:00 h, momento en que el sol incide en la fachada Noroeste.

CONCLUSIONES

La verificación realizada mediante modelos de simulación dinámica calibrados con mediciones *in situ* permitió demostrar la pertinencia de las áreas vidriadas propuestas para distintos valores de absorción solar de las superficies expuestas al exterior del caso de estudio, y validar en forma preliminar, la metodología de estimación del Factor de Vidriado (Fv) para la Tipología Compacta de Jardín de Infantes. La misma relaciona las variables más importantes en juego (A_v , α y $A_{envolvente}$) y posibilita la determinación de áreas vidriadas que conducirían a un comportamiento térmico y lumínico óptimo.

En concreto, se obtuvo una reducción de los requerimientos de refrigeración de hasta el 72%, en el mes de noviembre, más desfavorable para la actividad escolar, al bajar la absorción solar de las superficies exteriores a 0.25 (colores claros), con una relación de área vidriada por área de piso de 17 % (al Noroeste y Sureste)

que posibilitó notables mejoras en la distribución espacial de la luz natural, recurso fundamental para el desarrollo integral de los niños del Nivel Inicial.

Este hallazgo amplía lo establecido por el Reglamento de Construcciones de Resistencia vigente, que determina sólo A_v mínima como 10 % de la superficie de piso, sin considerar la orientación intermedia de la ciudad, ni las otras variables de proyecto (área de envolvente total y absorción solar exterior). De esta manera, la herramienta de estimación Fv, puede constituirse en un recurso valioso para los profesionales del sector educativo, así como para la actualización de las reglamentaciones municipales o provinciales en la Región NEA.

Ahora bien, el proceso de iteración para el cálculo de otras tipologías distintas a la de referencia, podría resultar laborioso dado que las correlaciones Fv se obtuvieron con escasos datos de entrada, por lo que será necesario proseguir con el testeo de otras tipologías de nivel inicial y en otras orientaciones posibles, para ampliar la base de datos y mejorar el funcionamiento de la correlación correspondiente, en la medida en que constituye una metodología factible de modificación con nuevos aportes.

Al constatarse la compatibilidad de las propuestas de mejoras térmicas y lumínicas, se resalta la importancia del diseño optimizado de los dispositivos de protección solar de los aventanamientos, como sistemas de regulación ambiental integrados, que conjuntamente con el tratamiento de la envolvente opaca y la configuración morfológica del edificio, permiten su adaptación a un amplio rango de condiciones climáticas y son responsables del aprovechamiento de una fuente de energía renovable tan potente en la Región NEA, como la solar.

Contribuyó en la precisión de los resultados, el grado de ajuste obtenido respecto a los datos tomados en el sitio, a partir de los modelos de simulación dinámica efectuados mediante el software Simedif, en condiciones reales de ocupación, con desviaciones medias de 0.6°C (RMSE) y errores (MAPE) que no superan el 2%. Igualmente, contribuyó la interfaz Radiance de Ecotect, con errores promedio de 46 Lx (RMSE) y 18% (MAPE), admisibles en términos de iluminancias. Esto vuelve factible el testeo de otros períodos no medidos de manera confiable, en base a los datos meteorológicos colectados en el microclima urbano de Resistencia.

Ante los próximos escenarios de calentamiento global y la evidente necesidad de actualizar los estándares de confort en el ámbito local y latinoamericano, pero además teniendo en cuenta las particularidades de los distintos niveles educativos, en este caso, del Nivel Inicial, los resultados de esta investigación representan un antecedente de nivel científico, a disposición de su principal beneficiario, el Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco, que bien pueden hacerse extensivos a otras regiones de clima subtropical Muy Cálido Húmedo, en pos del diseño sustentable de espacios escolares.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del Proyecto "Validación de herramienta de estimación de áreas vidriadas óptimas para el aprovechamiento pasivo de la Energía Solar en Edificios Escolares de Zonas Urbanas de la Región N.E.A." de la Dra. Arq. María Laura Boutet, Investigadora Asistente de la Carrera de Investigador Científico (CIC) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), bajo la Dirección del Dr. Alejandro Luis Hernández y la Codirección del Dr. Arq. Miguel Ángel Barreto. Se enmarca, además, en el Acuerdo de Trabajo suscripto s/ Res. N° 134/21 C.D. FAU entre la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste y el Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco, a cuyas autoridades expresamos nuestro más sincero agradecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Chilena Eficiencia Energética [Achee] (2012). *Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos*. Santiago, Chile.

Agencia Extremeña de la Energía [AGENEX] (2020). *Guía técnica para la mejora de la eficiencia energética, la adecuación y la rehabilitación ambiental bioclimática y el uso de energías renovables de los centros educativos públicos extremeños*. Junta de Extremadura. Consejería de Educación y Empleo. Servicio Regional de Obras y Proyectos. España.

Alwetaishi, M. (2019). Impact of glazing to wall ratio in various climatic regions: A case study. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 31, 6–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2017.03.001>

Alwetaishi, M., Alzaed, A., Sonetti, G., Shrahily, R. y Jalil, L. (2018). Investigation of school building microclimate using advanced energy equipment: Case study. *Environmental Engineering Research*, 23(1), 10-20. DOI: 10.4491/eer.2017.010.

Baserga, M. F. (2020). *Relación entre los parámetros de la forma edificatoria y el comportamiento energético en las escuelas de clima extremo de Argentina*. Trabajo de fin de Máster Universitario en Estudios Avanzados en Arquitectura. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.

Boutet, M. L. y Hernández, A. L. (2020). Herramienta de estimación de áreas vidriadas óptimas para el diseño solar pasivo de edificios escolares en el clima cálido-húmedo de la Región N.E.A. *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, 46, 49 - 60.

Boutet, M. L. y Hernández, A. L. (2021). Generic Proposal for the determination of optimal glazed areas for school buildings in the Northeast Region of Argentina. *Energy and Buildings*, 243(1). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110988>

Boutet M. L., Hernández y Jacobo G.J. (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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.009>

Capeluto, G. (2019). Adaptability in envelope energy retrofits through addition of intelligence features. *Architectural Science Review*, 62(3), 216-229. DOI: 10.1080/00038628.2019.1574707

Cisterna, M. S. y Abate, S. T. (2021). Iluminación natural en aulas prototípicas y adaptación a nuevas formas de enseñanza, con distancia social. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 25, 60-71.

Chiesa, G., Acquaviva, A., Grosso, M., Bottaccioli, L., Florida, M., Pristeri, E. y Sanna E. (2019). Parametric Optimization of Window-to-Wall Ratio for Passive Buildings Adopting a Scripting Methodology to Dynamic-Energy Simulation. *Sustainability*, 11(11). DOI: 10.3390/su11113078.

- Coronado, M. C., Stevenson-Rodriguez, C. y Medina, J.M. (2021). Thermal comfort in educational buildings: The Classroom-Comfort-Data method applied to schools in Bogotá, Colombia. *Building and Environment*, 194. DOI:10.1016/j.buildenv.2021.107682.
- Duffie J. y Beckman W. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Wiley Interscience.
- Fabbri, K. (2013). Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. *Building and Environment*, 68, 202-214. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.07.002,
- Filippín, C., Flores Larsen, S. y Marek, L. (2020). Performance térmica energética de un edificio bioclimático en una zona de alta radiación de argentina. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 45, 21-31.
- Flores Larsen, S. (2019). SIMEDIF 2.0 (Versión Beta). Software para el cálculo del comportamiento térmico transitorio de edificios. Manual del Usuario. Salta: INENCO – U.N.Sa.-CONICET.
- Futrell, B. J., Ozelkan, E. C. y Brentrup, D. (2015). Bi-objective optimization of building enclosure design for thermal and lighting performance. *Build Environ*, 92, 561–602. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.039>
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2007). *Atlas de energía solar de la República Argentina*. Buenos Aires: APF Suma.
- Incropera P. y de Witt D. (1999). *Fundamentals of heat and mass transfer*. México: John Wiley & Sons.
- IPCC (2019). *Calentamiento global de 1,5°C. Resumen para responsables de políticas*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado de www.ipcc.ch
- IRAM 11507 4 (2010). *Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4. Requisitos complementarios. Aislación térmica*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. <https://www.iram.org.ar/>
- IRAM 11603 (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. <https://www.iram.org.ar/>
- IRAM 11605 (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Método de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. <https://www.iram.org.ar/>
- IRAM AADL J-2004 (1974). *Iluminación Natural de Escuelas*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación y Asociación Argentina de Luminotecnia.
- Lamberti, G., Salvadori, G., Leccese, F., Fantozzi, F. y Bluysen, P. M. (2021). Advancement on Thermal Comfort in Educational Buildings: Current Issues and Way Forward. *Sustainability*, 13. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131810315>
- Lartigue, B., Lasternas, B. y Loftness, V. (2014). Multi-objective optimization of building envelope for energy consumption and daylight. *Indoor Built Env*; 23, 70–80. DOI: 10.1177/1420326X13480224
- Mangkuto, R., Rohmah M. y Asri, A. D. (2016). Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics. *Applied Energy*, 164, 211-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.046>
- Ministerio de Cultura y Educación de la Nación [MCEN] (1996). *Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar, Cap. IV. Condiciones de habitabilidad*.
- Ministerio de Cultura y Educación [MCE] (1981). *Zonificación bioclimática de la República Argentina según la influencia del clima en la problemática educativa. Nueva Serie Estudios y Documentos N° 5*. Dirección Nacional de Investigación, Experimentación y Perfeccionamiento Educativo. Centro Nacional de Documentación e Información Educativa. Buenos Aires, Rep. Arg.
- Muñoz, C. A. (2018). Confort térmico, desde una perspectiva para el cambio climático. *Arquitecturas del sur*, 36(54). DOI: <https://doi.org/10.22320/07196466.2018.36.054>
- Monteoliva, J. M., Korzeniowski, C. G., Ison, M.S., Santillán, J. y Pattini, A.E. (2016). Estudio del desempeño atencional en niños en aulas con diferentes acondicionamientos lumínicos. *Rev. CES Psicol.*, 9(2), 68-79. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/309687953>
- Montessori, M. (1998). *La mente absorbente del niño*. México, D.F.: Editorial Diana.
- Nam, I., Yang, J., Lee, D., Park, E. y Sohn, J. R. (2015). A Study on the Thermal Comfort and Clothing Insulation Characteristics of Preschool Children in Korea. *Build. Environ.*, 92, 724–733. DOI:10.1016/j.buildenv.2015.05.041
- Ochoa, C. E., Aries, M.B.C., van Loenen, E.J., Hensen, J.L.M. (2012). Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. *Appl Energy*, 95, 238–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.042>
- Pagliero Caro, M. J. y Piderit Moreno, M. B. (2017). Evaluación y percepción de la iluminación natural en aulas de preescolar, Región de los Lagos, Chile. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXVIII(3), 41-59.
- Pérez Y. y Capeluto, G. (2009). Climatic considerations in school building design in the hot-humid climate for reducing energy consumption. *Applied Energy*, 86(3), 340-348. DOI:10.1016/j.apenergy.2008.05.007.
- Ré, M. G. y Bianchi, M. F. (2020). Metodología de evaluación y calificación de la sustentabilidad ambiental y la eficiencia energética en edificios escolares existentes. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 45, 39 - 49.
- Reglamento General de Construcciones (1990). *Ordenanza N° 1681*. Municipalidad de Resistencia, Provincia del Chaco.

Rupp, R.F., Vásquez, N.G. y Lamberts, R. (2015). A Review of Human Thermal Comfort in the Built Environment. *Energy Build.*, 105, 178–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>

San Juan, G. (2014). Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI. Nota 5. En *Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Aprendizaje-en-las-escuelas-del-siglo-XXI-Nota-5-Auditor%C3%ADa-ambiental-y-condiciones-de-confort-en-establecimientos-escolares.pdf>

Souza, J., Nogueira B., Lima A. y Leder S. (2020). Thermal Comfort Analysis in Both Naturally Ventilated and Air-Conditioned Classrooms in a Warm and Humid Climate. En *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 503, SBE19. Temuco: Urban Planning, Global Problems and Local Policies (16-18 October 2019)*, Temuco, Chile. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/342315517>.

Trebilcock, M., Soto Muñoz, J., Figueroa, R. y Piderit, M. B. (2016). Metodología para el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes. *AUS* 11, (20), 70-76, DOI:10.4206/aus.2016.n20-11

Yacan, S. D. (2014). Impacts of Daylighting on Preschool students' social and cognitive skills. Master Tesis. Science, Faculty of the Graduate College at the University of Nebraska. Recuperado de http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=arch_id_theses.

Yun, H., Nam, I., Kim, J., Yang, J., Lee, K. y Sohn, J. (2014). A Field Study of Thermal Comfort for Kindergarten Children in Korea: An Assessment of Existing Models and Preferences of Children. *Build. Environ.*, 75, 182–189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.02.003>

Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M. y Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 59, 895–906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>