

Optimización bioclimática de parámetros de la envolvente de un Jardín de Infantes de tipología abierta, en clima muy cálido-húmedo

Bioclimatic optimization of the envelope parameters of an open plan Kindergarten, in a very hot-humid climate

María Laura Boutet (1) y Alejandro Luis Hernández (2)

1 Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y del Hábitat Humano (IIDTHH) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) / Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Resistencia, Chaco, Argentina.

2 Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) / Universidad Nacional de Salta (UNSa.), Salta Capital, Argentina.

arq.mlboutet@gmail.com

RESUMEN

Considerando la importancia del aprovechamiento y control de la energía solar como recurso bioclimático potencial en la región Nordeste Argentina, se presenta el procedimiento de validación de una metodología de estimación de áreas vidriadas óptimas, en un prototipo de jardín de infantes de tipología abierta existente en la ciudad de Resistencia, Chaco. A partir de una propuesta genérica, se verifican las mejoras obtenidas mediante la combinación de variables no contempladas en la normativa vigente para el cálculo de vanos de iluminación por orientación, en un clima muy cálido – húmedo, conformando para ello, modelos de simulación dinámica calibrados con mediciones in situ. Se obtuvo una reducción de la temperatura máxima absoluta de hasta 3,5 °C, lo que repercutió en la reducción de las necesidades de refrigeración de hasta 41 % en noviembre. Esto, a su vez, permitió mejoras notables en la distribución espacial de la luz natural, conservando un promedio de 500 lx.

ABSTRACT

Considering the importance of the use and control of solar energy as a potential bioclimatic resource in the Northeast Region of Argentina, the validation procedure of a methodology for estimating optimal glazed areas is presented, in an existing kindergarten prototype of open typology in the city of Resistencia, Chaco. Based on a generic proposal, the improvements obtained are verified by combining variables not contemplated in current regulations for the calculation of lighting openings by orientation, in a very hot - humid climate, configuring for this purpose dynamic simulation models calibrated with in situ measurements. A reduction in the absolute maximum temperature of up to 3.4°C was obtained, which had an impact on the reduction of cooling requirements of up to 41% in November. This, in turn, allowed notable improvements in the spatial distribution of natural light, preserving an average of 500 lx.

PALABRAS CLAVE: Confort termo-lumínico; Arquitectura escolar; Luz natural; Diseño bioclimático, Áreas vidriadas

KEYWORDS: Thermo-lighting comfort; School architecture; Natural light; Bioclimatic design, Glazed areas

FECHA DE RECEPCIÓN: 28/04/2024 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 25/05/2024

DOI: <https://doi.org/10.30972/arq.237561>

INTRODUCCIÓN

El clima influye considerablemente en la actividad educativa, especialmente en áreas adversas, donde el logro de la adecuada temperatura, humedad, ventilación o iluminación constituye un desafío, agravado por el cambio climático global. Particularmente en entornos preescolares, la calidad de la luz diurna se relaciona significativamente con el desarrollo cognitivo de los niños (Yacan, 2014). Una estrategia clave en el diseño bioclimático para garantizar dichas condiciones es el aprovechamiento pasivo de la energía solar, que implica el diseño adecuado de la tipología edilicia (Baserga, 2020; Esteves et al., 2018) y las características termo-físicas de la envolvente (opaca y vidriada), junto con la configuración óptima de las ventanas según la orientación. Esta estrategia no sólo regula las ganancias solares para mantener la estabilidad térmica y la calidad de la luz natural (Meresi, 2016; Zomorodian et al., 2016; Al-Ashwal y Hassan, 2017, y Mohelníková et al., 2020) sino que también ofrece un potencial ahorro energético (de Rubeis et al., 2018; Michael y Heracleous, 2017; Doulos et al., 2019) y aprovechamiento de la ventilación natural favorable.

A partir del diagnóstico de monitoreos anuales del comportamiento higrotérmico y lumínico de 8 edificios escolares de los distintos niveles educativos en la ciudad de Resistencia, provincia del Chaco, que pertenece a la Zona Ib (IRAM 11603: 2012) de clima "Muy cálido y húmedo", se determinó que el área de Envolvente Total es la variable más influyente en las condiciones de discomfort higrotérmico, concluyendo que el aporte de cada componente (*opaco y vidriado*) está desfasado en el tiempo y ambos pueden conducir a sobrecalentamientos en sus períodos de actuación (Boutet y Hernández, 2020). Este hallazgo condujo a la formulación de un nuevo parámetro, el Factor de Vidriado - F_v (variable dependiente) que permitió relacionar las variables (independientes) consideradas más significativas por orientación, dada su incidencia en el balance térmico. Dicha relación se expresa en la siguiente ecuación [1]:

$$F_v = \frac{\bar{\alpha} \cdot A_v}{A_{exp}} [1]$$

donde, F_v : Factor de Vidriado de cada local por orientación; $\bar{\alpha}$: absorptancia solar promedio ponderada 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, valor entre 0 y 1); A_v : área total de vidrio en ventanas y puertas expuestas al exterior (m^2); A_{exp} : área de fachadas y techos expuestos al exterior descontando A_v (m^2). Entonces $A_{exp} = A_{envolvente} - A_v$.

De este factor, se puede despejar una ecuación para el cálculo del área vidriada óptima, en la que se verifica una relación inversamente proporcional con la absorptancia solar [2]. Esto significa que, cuanto mayor sea el valor de la absorptancia (superficie más oscura), menor será el área de vidrio admisible. Es importante destacar aquí, que la orientación urbana a 45° respecto al Norte verdadero expone las envolventes de los edificios a la radiación solar durante todo el año, por lo que la regulación de las áreas vidriadas debe ir acompañada del diseño integrado de los dispositivos de protección solar.

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

El **objetivo general** del presente trabajo es verificar mediante simulación, la pertinencia desde el punto de vista térmico y lumínico, de las áreas vidriadas resultantes del cálculo mencionado, para distintos valores de absorptancia solar de la envolvente de un edificio escolar de tipología abierta, el Jardín Materno Infantil N° 33, caso de referencia que se replica en diferentes localizaciones urbanas y periurbanas. Dicho estudio se realizó en un período del mes de noviembre (2012), más desfavorable del ciclo escolar en términos de sobrecalentamiento.

Este procedimiento permitirá verificar la relación de proporcionalidad propuesta y contribuirá a ampliar la normativa vigente en la ciudad de Resistencia, para la determinación de vanos de iluminación y ventilación, considerando el aprovechamiento pasivo de la Energía Solar.

METODOLOGÍA

Antes de proceder a la validación de la metodología de estimación de áreas vidriadas, se calibró el modelo físico del caso de estudio para el período del mes de noviembre seleccionado, en los aspectos térmicos y lumínicos. Se utilizaron los programas de simulación SIMEDIF V.2.0 (Flores Larsen, 2019) y la interfaz RADIANCE de Autodesk Ecotect Analysis, en los cuales se ingresaron datos meteorológicos medidos mediante una Micro Estación ONSET (USA) H21-002 y se definieron las zonas térmicas (ocho aulas, núcleos sanitarios y cámaras de aire de techos), con parámetros homogéneos en cuanto a características, propiedades físicas de los componentes opacos y vidriados del edificio, renovaciones de aire por hora y ganancias internas estimadas. Los órdenes de ajuste térmico y lumínico globales hallados, con desviaciones medias de sólo 0.5 °C, RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio) y errores MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio) que no superan el 1.8%, demostraron su validez, lo cual permitió proseguir el testeo de las propuestas de optimización con buen grado de fiabilidad. Teniendo como antecedente una Propuesta Genérica de optimización de la envolvente (opaca + vidriada) con la que se verificaron las condiciones de bienestar térmico y lumínico necesarias en distintos casos de estudio, con la consiguiente reducción de las cargas de climatización entre un 40 y un 60% en promedio (Boutet y Hernández, 2021), en este trabajo se aplicó al JMI N° 33 la denominada “pg4”, óptima desde el punto de vista técnico-económico y de su comportamiento termo-lumínico, según los recursos bioclimáticos potenciales detectados en el edificio. Se prosiguió con el procedimiento de validación, de acuerdo a los siguientes pasos metodológicos que se ilustran en la Figura 1:

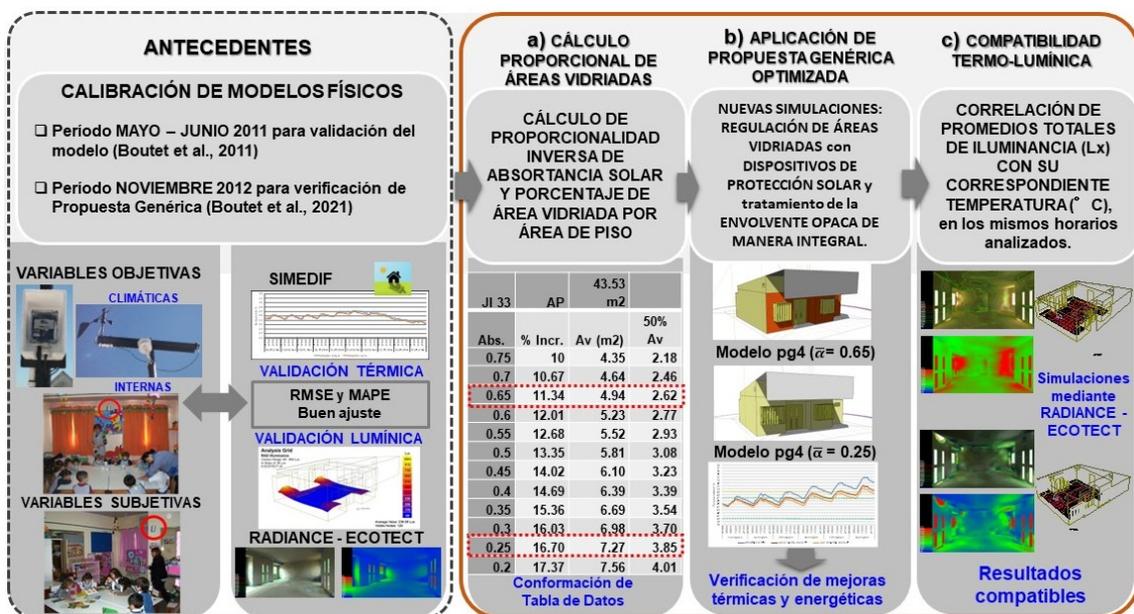


Figura 1. Pasos metodológicos. Fuente: Elaboración propia.

- Cálculo Proporcional de Áreas Vidriadas.** Considerando la relación inversa entre la absorptancia solar de las superficies exteriores y el área vidriada admisible, se realizó un cálculo de proporcionalidad inversa de las variables, en un rango de absorptancias entre 0.75 y 0.2 (en orden decreciente, con intervalos de 0.05), para la determinación del área vidriada óptima, según el caso. Dichos valores máximo y mínimo provienen de los cálculos de $\bar{\alpha}$ verificados en las propuestas realizadas para los locales monitoreados.
- Aplicación de la Propuesta Genérica Optimizada.** Se utilizaron los modelos validados para

simular el comportamiento térmico y lumínico del prototipo, en el período de noviembre y luego aplicar la Propuesta Genérica Optimizada (Boutet y Hernández, 2021) para distintos valores de absorción solar de las superficies exteriores ($\alpha = 0.65$ y 0.25). Se verificó, el porcentaje de reducción de las cargas de refrigeración, mediante simulaciones con termostatación en SIMEDIF estableciendo 25°C para el período de noviembre.

- c) **Compatibilidad termo-lumínica.** A fin de verificar si el bienestar térmico es compatible con una adecuada iluminación natural, según los rangos de confort local establecidos, se relacionaron los promedios totales de iluminancia (lx) obtenidos 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.

DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El Jardín Materno Infantil N°33, fue ejecutado a través del Programa Nacional 700 Escuelas en el año 2007 y puesto en servicio con una superficie cubierta total de 880 m^2 . Alberga los niveles Pre-inicial, Inicial y Materno Infantil (niños de 2 a 4 años). Se localiza en un área urbana de equipamiento institucional (educacional y sanitario en correspondencia con los sectores de mayor densidad poblacional).
Figura 2



Figura 2. Localización del Jardín Materno Infantil N° 33 (izquierda). Planta con esquema de monitoreo (derecha)

Fuente: Elaboración propia.

Se caracteriza por su tecnología tradicional cuyos valores del coeficiente global de pérdidas (U), no satisface los recomendados en un nivel Medio (B) por la normativa vigente en Argentina (IRAM 11605, 1996). Consiste en muros de 0.30 m de espesor de ladrillos vistos con junta enrazada y revocados en el interior ($U = 1.6\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$); cubierta de chapa AU L1 galvanizada con aislación de lana de vidrio 38 mm con papel Kraft ($U = 1.00\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$), con estructura de perfiles de chapa estampada y cielorraso de machimbre de PVC suspendido, quedando una cámara de aire ventilada entre ambos. Por su tipología abierta desarrollada a partir de la circulación central, en dos alas simétricas con 4 módulos de aulas cada una, dos de ellos integrados por paneles corredizos, el JMI N°33 posee altas posibilidades de intercambio interior - exterior, con gran superficie de fachadas y áreas vidriadas expuestas, por lo que se produce sobrecalentamiento. Cada aula tipo posee 4 ventanas corredizas (2 hacia el Noreste y 2 hacia el Suroeste) con marcos de chapa doblada y un área efectiva de vidrios simples de 6.88 m^2 sin Ruptor de Puente Térmico ($U = 6\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$), por lo que no califican s/ IRAM 11507 4 (2010). Observaciones in situ (Boutet et al., 2011 y 2012) indicaron potenciales recursos bioclimáticos de refrescamiento pasivo ("tubo Venturi" – ventilación cruzada), pero la ventilación cruzada no es óptima debido a que las ventanas

suelen estar cerradas por su mal deslizamiento, recurriéndose al uso de aire acondicionado.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Simulación en el período de noviembre 2012. El testeo se realizó en un período de seis días, desde el 13/11/12 hasta el 18/11/12. La temperatura exterior promedio fue de 25°C y la humedad relativa promedio de 60 %; las temperaturas máximas superaron los límites de confort, en los últimos días. La velocidad promedio de viento fue de 1.5 m/s, con una máxima de 3.0 m/s y dirección predominante ESE; la radiación solar global horizontal promedio de 245 W/m² con una máxima promedio de 903 W/m². Los días fueron mayormente soleados con algo de nubosidad.

La Figura 3 muestra la evolución de temperaturas de las salas simuladas (ala 1) en contraste con la temperatura ambiente exterior y la irradiación global medidas. *La zona de confort térmico regional para invierno es de 20 a 25° C y para verano de 25 a 29°C. Para el análisis estadístico, se consideró un rango de 20 a 27 °C y de 35 a 65 % HR.* Los tres primeros días simulados, las temperaturas de las aulas evolucionan en la zona de confort regional ampliada (25 a 29°C), con temperatura exterior moderada. A partir del 16/11/12, al aumentar la temperatura exterior, las temperaturas interiores alcanzan valores cercanos a 35°C, saliendo de la zona de confort.

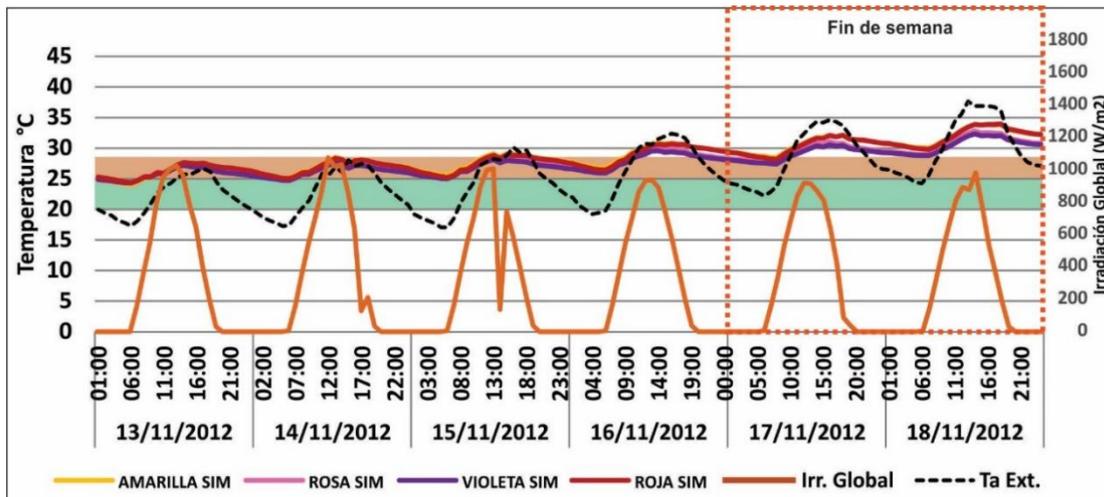


Figura 3. Evolución de temperaturas simuladas en aulas del JMI N° 33. Período 13/11/12 – 18/11/12.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo Proporcional de Áreas Vidriadas. Se realizó un cálculo proporcional, teniendo en cuenta los vanos mínimos para iluminación y ventilación natural, según la Normativa vigente. El Reglamento General de Construcciones (1990) de Resistencia y su actualización 2022, establece que el área mínima de vanos para iluminación debe ser el 10% del área libre de la planta del local. Conforme MCEN (1996), la superficie de ventilación debe ser al menos la mitad de la de iluminación y debe permitir ventilación cruzada. Se aplicó a cada local el porcentaje estimado de área vidriada (AV) por área de piso (AP) para cada valor de $\bar{\alpha}$ en un rango de 0.75 a 0.2 (en orden decreciente) con intervalos de 0.05. Dichos límites máximo y mínimo provienen de los cálculos de $\bar{\alpha}$ verificados en las propuestas realizadas para los locales monitoreados. Se asignó a $\bar{\alpha} = 0.75$ un valor de área vidriada igual al 10% del área de piso. Con la disminución de la absorción, el área vidriada debe aumentar, por lo que se realizaron cálculos de proporcionalidad inversa para obtener los porcentajes de Área de piso incrementados, con los cuales se calcularon las nuevas áreas vidriadas. Al tratarse de tipologías de dos frentes de iluminación, se dividieron a la mitad las Av obtenidas en cada orientación (Tabla 1).

Propuesta genérica optimizada. En la verificación de su pertinencia, se consideraron 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 ($\bar{\alpha} = 0.65$) y pg4 ($\bar{\alpha} = 0.25$). Corresponde a la pg4 ($\bar{\alpha} = 0.65$) un Av de 4.94 m² y a la pg4 ($\bar{\alpha} = 0.25$) un Av de 7.27 m² (Tabla 1). Se distribuyeron de manera equitativa las áreas vidriadas en ambas fachadas con vanos, ajustando su tamaño según fuera necesario. De esta manera, la relación de AV/AP cambió de 15.8 %, que resultaba muy alta para el valor de absorción promedio original, a 11.3 % en la pg4 ($\bar{\alpha} = 0.65$) y a 16.7 % en la pg4 ($\bar{\alpha} = 0.25$) y por consiguiente se modificaron los valores de AV/AF del 12.8 % original a 9.2 y 13.5 % respectivamente. En la Tabla 2 se muestran las variables dimensionales del modelo original del Aula Amarilla con áreas vidriadas expuestas al Noreste y Suroeste y de las propuestas de mejora desarrolladas para los dos valores de absorción solar. Las mismas modificaciones se aplicaron a las demás aulas del modelo.

Tabla 1. Cálculo proporcional de áreas vidriadas partiendo del Av mínima por área de piso.

Abs. ($\bar{\alpha}$)	Área de piso (43.53 m ²) % Incremento	Av (m ²)	Distribución por fachadas 50% Av (m ²)
0.75	10	4.35	2.18
0.7	10.67	4.64	2.32
0.65	11.34	4.94	2.47
0.6	12.01	5.23	2.61
0.55	12.68	5.52	2.76
0.5	13.35	5.81	2.90
0.45	14.02	6.10	3.05
0.4	14.69	6.39	3.19
0.35	15.36	6.69	3.34
0.3	16.03	6.98	3.49
0.25	16.70	7.27	3.63
0.2	17.37	7.56	3.78

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Variables dimensionales del modelo original y de las propuestas de mejora con distintos valores de absorción solar.

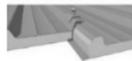
Fuente: Elaboración propia.

- **Modificación del sistema de aventanamientos.** Se cambiaron las ventanas de 2 paños corredizos de vidrios simples con marcos de chapa doblada, de difícil accionamiento y que además no cumplen con el área de ventilación recomendada, por ventanas de 2 y 3 paños de Doble Vidriado Hermético (DVH) corredizos, con marcos de aluminio y Ruptor de Puente Térmico (RPT). Este sistema facilitaría el efecto "Venturi" generado por el pasillo entre las aulas centrales.
- **Diseño integrado de sus dispositivos de protección solar** en diferentes configuraciones geométricas apropiadas para media orientación. Se incorporó en cada ventana expuesta del modelo, un sistema de brise soleil que cubre 100% del vano con parasoles verticales móviles regulables (90, 45 o 30°) según las necesidades de control solar, mejorando la distribución de la luz sin el

uso de cortinas internas. A ello se suma la incorporación de sombras arrojadas por árboles de pequeño porte, sobre las superficies exteriores.

- **Tratamiento de la envolvente opaca y vidriada.** Se aplicaron soluciones de inercia térmica media de uso conocido en el NEA, con valores del coeficiente global de pérdidas (U) recomendados por las Normas IRAM 11605 (1996) para verano (situación más desfavorable) en el nivel Medio (B), así como recomendaciones de diseño para la Zona Ib, según IRAM 11603 (2012), obteniendo: para muros, $U = 0.8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$; para techos, $U = 0.4 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Para ventanas, se obtuvo: $U = 2.8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ según el nivel medio K4 (de 2.01 a 3.00 $\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$), IRAM 11507 4 (2010). En la Tabla 3 se detalla la propuesta genérica del edificio con sus características ingresadas en el programa Simedif. En el caso de la propuesta genérica pg4 abs. 0.25 se aplicó una terminación exterior reflectiva tanto al techo como a los muros exteriores.

Tabla 3. Propiedades de la Propuesta Genérica del JMI N° 33 ingresadas a SIMEDIF.

DETALLES ILUSTRATIVOS	PROPUESTA GENÉRICA (pg4)	Esp. (m)	Coef. Global de Pérdidas U ($\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$)	U ($\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$) IRAM Nivel Medio
	TECHO Placa autoportante de chapa con aislamiento interior. Coeficiente de transmitancia térmica (k) = $0.44 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$	0.08	0.4	0,45 (IRAM 11605: 1996)
	MURO DOBLE: hoja de ladrillos comunes vistos de esp.0.12 m; aislación de poliestireno expandido (15 kg/m3) de esp. 0.03 m; hoja de ladrillos de esp. 0.12 m terminado con revoque grueso y fino al interior.	0.3	0.8	1,1 (IRAM 11605: 1996)
	VENTANAS DVH laminado (6+12+6) perfilaría de aluminio con RPT ($U = 2.85 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$). Coeficiente de sombra = 0.72; Transmitancia visible = 0.81; índice de refracción 1.526. Control solar (aleros – brise soleil con parasoles verticales móviles)	0.02	2.8	de 2,01 a 3,00 (Nivel Medio K4 IRAM 11507 4: 2010)

Fuente: Elaboración propia con imágenes ilustrativas adaptadas de:

<https://aape.com.ar/manual-practico-del-aislamiento-termico-aape> y <https://www.aluar.com.ar/>

Simulaciones termo-energéticas de propuestas optimizadas. Se comparó la evolución de temperaturas de las respectivas propuestas simuladas para cada aula mediante Simedif en el período de monitoreo de noviembre, con las del edificio original. Por razones de espacio se muestra sólo la gráfica del aula Amarilla indicando los límites de confort (Fig. 4). Se observa que las temperaturas de las propuestas se mantienen mayormente dentro de la zona de confort, excepto al final del período coincidente con el fin de semana, en que superan levemente el límite de 29°C . El aula Roja experimentó peores condiciones con temperaturas que excedieron el límite máximo en los dos últimos días analizados. En relación a la situación original, mediante la pg4 ($\bar{\alpha} = 0.25$) partiendo de una temperatura máxima absoluta de 33.9°C y una temperatura promedio de 28.6°C , en el aula Amarilla se consiguió una reducción de 3.4°C y de 2.3°C respectivamente. Partiendo de una temperatura máxima absoluta medida 34.0°C y una temperatura promedio de 28.6°C en el aula Roja, se consiguió una reducción de 3.1°C y 2.1°C respectivamente con dicha propuesta.

Dadas las mejoras de las temperaturas interiores, se obtuvo una importante disminución de las cargas de refrigeración en ambas propuestas, tanto en valor como en número de horas diarias, verificadas mediante simulaciones con termostatación (25°C) en Simedif. La Figura 5 muestra la comparación de los requerimientos máximos de refrigeración en noviembre entre las propuestas y el modelo original

simulado. Se logró una reducción de las cargas de refrigeración de 38% para el aula Amarilla y de 41% para el aula roja con la propuesta pg4 ($\bar{\alpha}$ = 0.25).

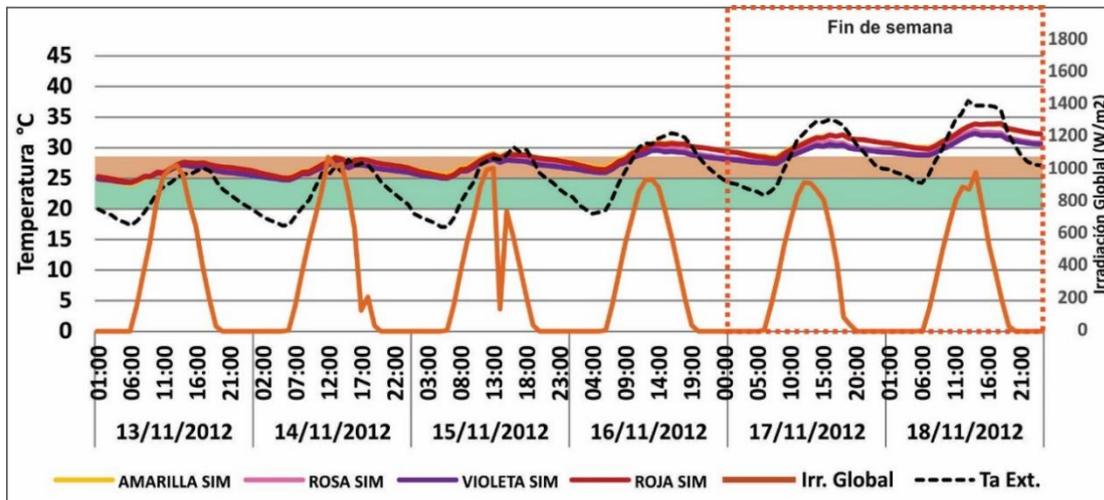


Figura 4. Evolución de temperaturas simuladas con las propuestas genéricas (pg4) en contraste con el caso original. Aula Amarilla. Fuente: Elaboración propia.

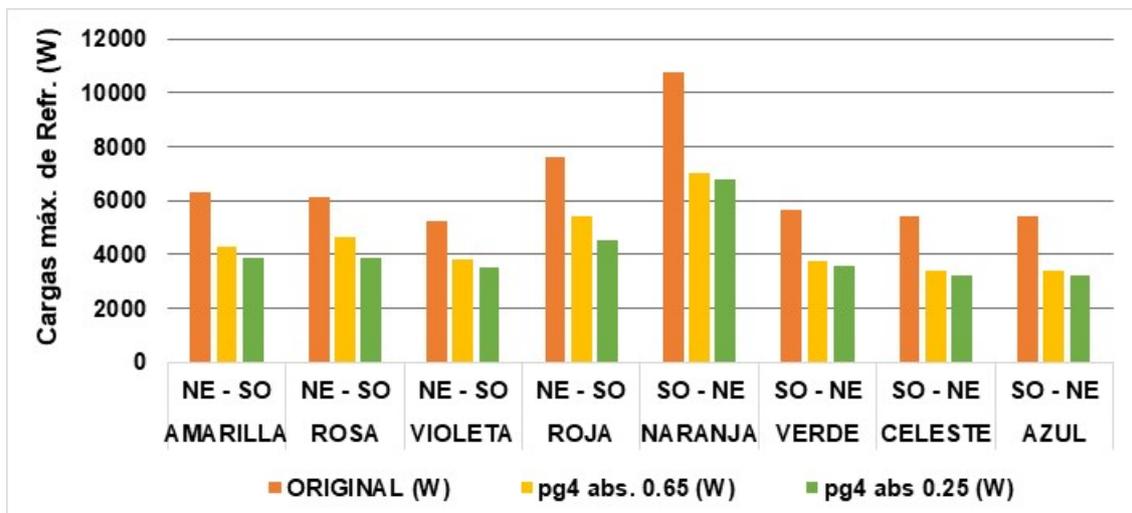


Figura 5. Reducción de cargas máximas de refrigeración período Noviembre. Fuente: Elaboración propia.

- d) **Compatibilidad termo-lumínica de resultados.** 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). A partir del análisis en los tres horarios evaluados (9:00, 13:00 y 16:00 h) en el día más soleado, 14/11/12, se verificó que el valor promedio de iluminancia del modelo original queda fuera de la zona de confort lumínico. Especialmente el aula Amarilla en horarios de las 13:00 y las 16:00 h. Mediante las propuestas optimizadas, se lograron mejores condiciones térmicas con valores de iluminancia en torno al límite máximo recomendado (500 lx). Se demuestra así, la pertinencia de los dispositivos de protección solar exteriores incorporados, evitando el uso de cortinas que disminuyen la calidad de la luz natural, siendo la alternativa pg4 ($\bar{\alpha}$ = 0.25), la más efectiva en este sentido.

En la Figura 6 se comparan las visualizaciones del modelo del aula Amarilla original con los modelos

mejorados en el día más soleado a las 9:00 h, momento en que el sol incide en la fachada noreste. En el modelo original, la luz se concentra cerca de las ventanas con valores de 900 lx o más, lo que podía causar deslumbramiento. Sin embargo, en ambas propuestas mejoradas, se garantiza una iluminación natural uniforme y adecuada.

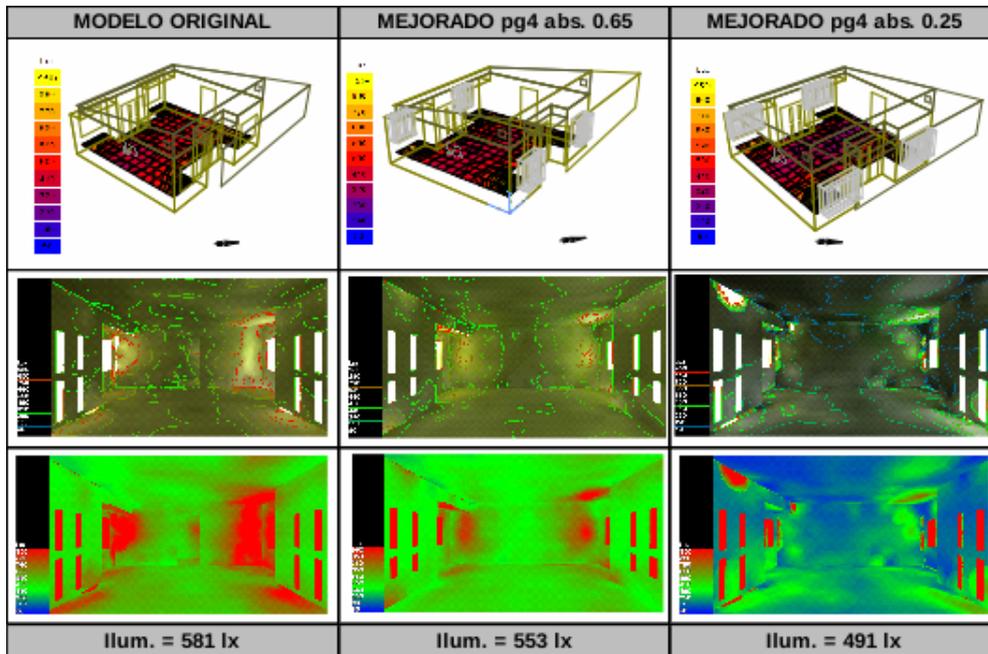


Figura 6. Comparación de simulaciones termo-lumínicas en promedio – aula Amarilla (día 14/11/12 – 9:00 h).

Fuente: Elaboración propia mediante Radiance – Ecotect.

CONCLUSIONES

El estudio realizado con modelos de simulación dinámica calibrados permitió demostrar la pertinencia de las áreas vidriadas propuestas para distintos valores de absorción solar de las superficies expuestas al exterior del caso de referencia. La metodología de estimación de áreas vidriadas mediante el cálculo de proporcionalidad inversa implementado como parte de la propuesta genérica aplicada, amplía lo establecido por la normativa vigente para la ciudad de Resistencia, que determina sólo el área de vanos mínima como 10 % de la superficie de piso, sin considerar la orientación intermedia de la ciudad y otras variables involucradas en la carga térmica edilicia (área de envolvente total opaca y vidriada, materialidad, absorción solar según color de terminación exterior, dispositivos de protección solar integrados según orientación).

Las mejoras térmicas y lumínicas implementadas mostraron ser compatibles y efectivas, reduciendo la temperatura máxima en aulas expuestas hasta 3.4°C y disminuyendo los requerimientos de refrigeración hasta un 41% en noviembre. Esto se logró mediante la reducción de la absorción solar de las superficies exteriores a 0.25 y el aumento de la relación de área vidriada por área de piso al 17%, lo que a su vez permitió notables mejoras en la distribución espacial de la luz natural, un recurso tan beneficioso para la salud y el ritmo biológico de los niños, conservando un promedio de 500 lx. Asimismo, para un clima muy cálido húmedo, la ubicación de ventanas en fachadas opuestas y la disposición de aulas en tiras con dos frentes libres, favorecen el aprovechamiento de las diferencias de presión para ventilación cruzada y efecto Venturi en complemento con la galería central protegida de la incidencia

solar directa, siendo recomendable esta tipología en la ampliación del parque edilicio educativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Ashwal N. T. y Hassan A. S. (2017) The integration of daylighting with artificial lighting to enhance building energy performance. *AIP Conference Proceedings* 1892(1):160010. DOI:10.1063/1.5005777

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

Boutet, M., Hernández, A., Jacobo, G., Martina, P. y Corace, J. (2011). Auditorías Higrotérmicas y Lumínicas de dos Edificios Escolares de Nivel Inicial de la Ciudad de Resistencia, en Condiciones Reales de Ocupación. *AVERMA*, Vol. 15, Pp. 29 - 36. ISSN: 0329-5184. Rep. Arg.

Boutet, M., Hernández, A. y Jacobo, G. (2012) Validación de Simulaciones Interactivas con SIMEDIF y ECOTECT, a partir de Auditorías Energéticas de un Edificio Escolar de la ciudad de Resistencia. *AVERMA*, Vol. 16, p. 27 – 34. ISSN: 0329-5184, Rep. Arg.

Boutet, M. y Hernández, A. (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. *ERMA*, Vol. 46, pp. 49 - 60, 2020. e-ISSNa: 2684-0073 / ISSN impreso: 0328-932X. Rep. Arg.

Boutet, M. y Hernández, A. (2021). Generic Proposal for the determination of optimal glazed areas for school buildings in the Northeast Region of Argentina. *Energy and Buildings* 243(1):110988. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110988>

de Rubeis, T., Nardi, L., Muttillio, M., Ranieri, S. y Ambrosini, D. (2018). Room and window geometry influence for daylight harvesting maximization – Effects on energy savings in an academic classroom. *Energy Procedia*, Volume 148, p. 1090-1097. DOI:10.1016/j.egypro.2018.08.050.

Doulos, L., Kontadakis, A., Madias, E., Sinou, M. y Tsangrassoulis, A. (2019). Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems, *Energy Build.* 194, 201–217, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.033>.

Esteves, A., Esteves, M.J., Mercado, María V., Barea, G. y Gelardi, D. (2018). Building Shape that Promotes Sustainable Architecture. Evaluation of the Indicative Factors and Its Relation with the Construction Costs. *Architecture Research*; vol. 8 p. 111 – 122. California. DOI:10.5923/j.arch.20180804.01

Flores Larsen, Silvana (2019). SIMEDIF 2.0 (Versión Beta). Software para el cálculo del comportamiento térmico transitorio de edificios. Manual del Usuario. INENCO – UNSa.-CONICET. Salta, Argentina.

IRAM 11603 (2012). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

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.

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.

IRAM AADL J-2004 (1974), Iluminación Natural de Escuelas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación y Asociación Argentina de Luminotecnia, Bs. As. Argentina.

Meresi, A. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece, *Energy Build.* 116 p. 190–205. DOI:10.1016/j.enbuild.2016.01.009

Michael, A. y Heracleous, C. (2017). Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe. The case of typical educational school premises in Cyprus, *Energy Build.* 140, p. 443– 457, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.087>.

MCEN - Ministerio de Cultura y Educación de la Nación (1996), Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar, Cap. IV. Condiciones de habitabilidad.

Mohelníková, J., Novotný, M. y Mocová P. (2020) Evaluation of school building energy performance and classroom indoor environment, *Energies* 13 2489, <https://doi.org/10.3390/en13102489>, www.mdpi.com/journal/energies

Reglamento General de Construcciones (1990). Ordenanza Nº 1681. Municipalidad de Resistencia, Provincia del Chaco. Actualización s/ Ordenanza N° 13915. Resistencia, 2022.

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

Zomorodian, Z., Korsavi, S., Tahsildoost, M. (2016). The effect of window configuration on daylight performance in classrooms: a field and simulation study, *Int. J. Architect. Eng. Urban Plan* 26 (1) 15–24.