



Revista AUS

ISSN: 0718-204X

ausrevista@uach.cl

Universidad Austral de Chile  
Chile

Trebilcock Kelly, Maureen; Soto Muñoz, Jaime; Figueroa San Martín, Rodrigo; Piderit-Moreno, Beatriz

Metodología para el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes.

Revista AUS, núm. 20, julio-diciembre, 2016, pp. 70-76

Universidad Austral de Chile  
Valdivia, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281750069011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

- ▲ **Palabras clave/** Confort térmico, edificios educacionales, resiliencia, niños
- ▲ **Keywords/** Thermal comfort, educational facilities, resilience, children
- ▲ **Recepción/** 5 octubre 2015
- ▲ **Aceptación/** 23 noviembre 2015

# Metodología para el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes.<sup>1</sup>

Method for the design of comfortable and resilient educational facilities.

## Maureen Trebilcock Kelly

Arquitecta, Universidad del Bío-Bío, Chile.  
PhD, University of Nottingham, Inglaterra.  
Académica Departamento Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío-Bío, Chile.  
mtrebilc@ubiobio.cl

## Jaime Soto Muñoz

Ingeniero Constructor, Universidad del Bío-Bío, Chile.  
Magister en Administración de Empresas, Magister en Docencia Universitaria, Universidad del Desarrollo, Chile.  
Académico Departamento Ciencias de la Construcción, Universidad del Bío-Bío, Chile.  
jsotom@ubiobio.cl

## Rodrigo Figueroa San Martín

Ingeniero Constructor, Universidad del Bío-Bío, Chile.  
Investigador Centro Tecnologías de la Construcción, Universidad del Bío-Bío, Chile.  
rfigueroa@ubiobio.cl

## Beatriz Piderit-Moreno

Arquitecta, Universidad del Bío-Bío, Chile.  
Doctora, Université Catholique de Louvain, Bélgica.  
Académica Departamento Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío-Bío, Chile.  
mpiderit@ubiobio.cl

**RESUMEN/** Este trabajo presenta una propuesta de metodología para el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes. En base a un trabajo de campo realizado en establecimientos educacionales de todo Chile, el primer componente de la metodología se centró en la determinación de temperaturas de confort adecuadas para niños en edad escolar, las cuales resultaron ser considerablemente más bajas que los estándares actuales, principalmente debido a la capacidad de adaptación de los niños. El segundo componente de la metodología consistió en la determinación de relaciones entre confort y rendimiento académico de los niños, que tiene como objetivo establecer los beneficios del mejoramiento de la calidad del edificio en aspectos de salud y bienestar de los estudiantes. Finalmente, la metodología incluyó el desarrollo de una herramienta para visualizar los resultados de las simulaciones térmicas de edificios pasivos cuando el output es temperatura interior en lugar de demanda de energía. **ABSTRACT/** This study discusses a methodology proposal for the design of comfortable and resilient educational facilities. Based on fieldwork performed in educational facilities throughout Chile, the first component of the methodology focused on determining comfortable temperatures for school age children, which ended up being considerably lower than current standards, mainly due to the children's ability to adapt. The second component of the methodology involved identifying the relationship between comfort and children's school performance; this was aimed at establishing the benefits of improving the facilities' quality in terms of the students' health and wellbeing. Finally, the method included the development of a tool to view the findings of the thermal simulations in passive buildings, when the output is indoor temperature instead of energy demand.

**1. INTRODUCCIÓN.** Diversos autores han discutido el hecho de que el confort térmico en las aulas escolares tiene un impacto significativo en el rendimiento y la salud de los niños (Sensharma, Woods y Goodwin 1998; Bluysen 2014), lo que toma aún más importancia cuando se considera que los niños pasan más tiempo en la escuela que en cualquier otro edificio, con la excepción de sus casas. Este hecho pone de manifiesto la importancia de alcanzar un ambiente térmico confortable al interior de los establecimientos educacionales. Debido a esto, algunas investigaciones recientes han abordado el problema del confort térmico en las escuelas, llegando a la conclusión de que los niños son más sensibles a las temperaturas más altas que los adultos, y que las normas de confort térmico actuales

no son apropiadas para la evaluación del ambiente térmico de los niños en aulas escolares (Teli, Jentsch y James 2014). La mayor parte de las investigaciones realizadas en este tema se centran en estudiar el riesgo de sobrecalentamiento fuera de la temporada de calefacción (Montazami y Nicol 2013), así como en el desarrollo de estrategias adecuadas para lograr el confort térmico, en conjunto con medidas de eficiencia energética y en conformidad a las normas de calidad del aire (Dascalaki y Sermpetzoglou 2011; Theodosiou y Ordoumpozanis 2008). En la mayoría de estos estudios, el confort térmico en invierno no es un problema a investigar, ya que los edificios escolares en el mundo desarrollado han alcanzado un nivel de calidad en el que es posible

<sup>1</sup> Este artículo es resultado del proyecto Fondecyt N°1130596 y del trabajo del Grupo de Investigación en Arquitectura y Construcción Sustentable de la Universidad del Bío-Bío.

mantener la temperatura interior dentro de la zona de confort por medio de sistemas de calefacción activos y una envolvente térmica que controle las pérdidas de calor de manera efectiva.

En Chile, la mayoría de los edificios educacionales funcionan en régimen libre; es decir, prescindiendo de un sistema de calefacción o refrigeración que regule las temperaturas interiores. Solo aquellos establecimientos ubicados en las zonas climáticas andina (AN), sur litoral (SL), sur interior (SI) y sur extremo (SE) requieren de la provisión de un sistema de calefacción, aunque la mayoría de las veces este no opera, debido a los altos costos energéticos que implica (imagen 1). No existen normas que regulen la eficiencia energética de edificios escolares, y las regulaciones en torno al confort ambiental son muy limitadas. El Decreto Supremo 548 (Ministerio de Educación 1988) exige, en cuanto a confort térmico, una temperatura interior mínima de 12°C para aulas ubicadas en las zonas climáticas detalladas anteriormente y, en cuanto a calidad del aire, una tasa de ventilación de 2 renovaciones de aire por hora cuando las aulas poseen ventilación mecánica. Estudios que han evaluado la calidad del ambiente interior de edificios educacionales en el país han encontrado condiciones térmicas insuficientes y una inadecuada calidad del aire interior (Armijo, Whitman y Casals 2011; Trebilcock, Bobadilla, Piderit, Guzmán, Figueroa, Muñoz, Sánchez, Aguilera y Hernández 2012). Los estudiantes deben pasar largas horas en un ambiente que puede ser demasiado frío o demasiado caluroso, con mala calidad del aire y muy ruidoso como para permitir que realicen sus tareas académicas de forma adecuada (imagen 2).



**Imagen 1.** Escuela Plácido Villarroel, Iquique (fuente: Los autores).



**Imagen 2.** Estudiantes al interior de un aula, Escuela Isabel Le Brun, Renca, Santiago (fuente: Los autores).

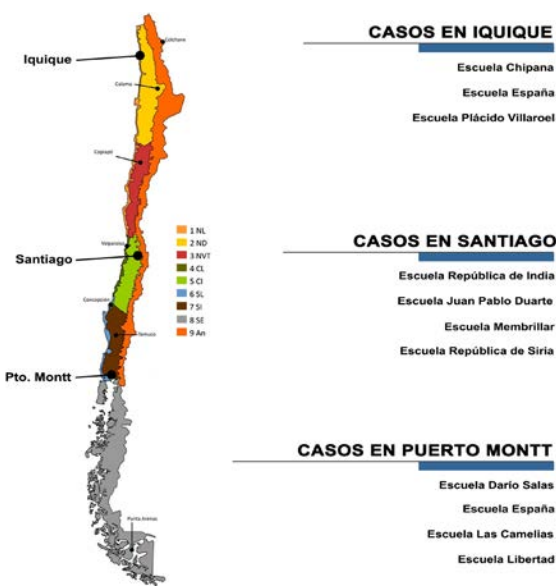


Imagen 3. Ubicación de los casos de estudio en Chile (fuente: Elaboración de los autores).

Por esta razón, existe un creciente interés en el país por desarrollar conocimientos, directrices y reglamentos sobre diseño para la eficiencia energética y confort ambiental de edificios educacionales (Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción Universidad del Bío-Bío o CITEC UBB 2012). La tarea es compleja, debido a que el país posee un clima muy diverso y limitados recursos financieros, lo que hace necesario abordar el problema desde una perspectiva holística.

## 2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Este artículo presenta una propuesta metodológica para apoyar el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes, en base a la determinación de temperaturas de confort para niños en diferentes contextos climáticos a través de un trabajo de campo, de las relaciones entre confort y rendimiento académico, y en el desarrollo de una herramienta para visualizar resultados de simulaciones térmicas de edificios pasivos cuando el *output*<sup>2</sup> es temperatura interior.

## 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

La metodología de investigación se basó, en una primera etapa, en un extensivo trabajo de campo que contempló edificios educacionales localizados en distintas zonas climáticas

del país, con el objetivo de determinar temperaturas de confort adecuadas para niños de distintas realidades socio-económicas. El trabajo de campo involucró, inicialmente, 11 casos de estudio de edificios educacionales ubicados en tres zonas climáticas diferentes: Iquique (norte litoral o NL), Santiago (centro interior o CI) y Puerto Montt (sur litoral o SL) (imagen 3). La norma chilena NCh1079 divide el país en 9 zonas climáticas, que varían desde condiciones climáticas moderadas en la costa norte, hasta condiciones muy duras en el extremo sur, pasando por zonas con veranos calurosos e inviernos relativamente fríos en la zona central. El clima de Iquique se caracteriza por ser desértico costero y con abundante nubosidad. Además, las temperaturas medias en verano varían entre los 18,6°C y 24,4°C (enero), mientras que en invierno (julio) fluctúan entre los 12,7°C y 13,1°C. Santiago posee un clima mediterráneo, con estación seca prolongada en verano, temperaturas medias en enero que varían entre los 13°C y 29,5°C y temperaturas medias en invierno que varían entre 3,9°C y 14,9°C en julio. El clima oceánico de Puerto Montt se caracteriza por presentar temperaturas medias que varían entre los 9,4°C y 19,2°C en enero; mientras que las temperaturas de invierno varían entre 3,5°C y 9,9°C en julio. La mayoría de los casos de estudio son edificios que operan en régimen libre (pasivos); los casos de Iquique y Santiago no están obligados por norma a poseer un sistema de calefacción o refrigeración, mientras que en Puerto Montt todos los casos tienen un sistema de calefacción, aunque éste no siempre está activo, debido a los altos costos de operación y a limitaciones presupuestarias.

Los criterios para la selección de los casos respondieron a la necesidad de estudiar escuelas de diferentes niveles socio-económicos, según lo definido por el Índice de Vulnerabilidad del Establecimiento (IVE) del Sistema Nacional de Asignación con Equidad (SINAE). Este índice refleja la vulnerabilidad de los estudiantes del establecimiento educacional asociada a criterios de pobreza, composición familiar y otros factores que pudiesen conducir a la deserción escolar. Además, todos los casos fueron elegidos por representar un edificio típico en el contexto local. La unidad de análisis para cada caso de estudio fue un curso de cuarto básico, donde las edades de los niños fluctúan, típicamente, entre los 9 y 10 años (imagen 4).

### CASOS DE ESTUDIO EN IQUIQUE



### CASOS DE ESTUDIO EN SANTIAGO



### CASOS DE ESTUDIO EN PUERTO MONTT



Imagen 4. Fotografías de los casos de estudios (fuente: Los autores).

<sup>2</sup> El término *output* (de la lengua inglesa), es utilizado para indicar el producto que arroja como resultado un sistema.

**LUNES 8:30**

1. ¿Cómo SIENTES la temperatura de la sala en este momento?

Muy fría	Fría	Un poco fría	Agradable	Un poco calurosa	Calurosa	Muy calurosa
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Haz un tick ✓ en la frase que te parece más apropiada:

Me gustaría que la sala estuviese mucho más fría ☐ ❄️❄️❄️❄️

Me gustaría que la sala estuviese más fría ☐ ❄️❄️❄️

Me gustaría que la sala estuviese un poco más fría ☐ ❄️❄️

Me gustaría que la sala estuviese igual ☐

Me gustaría que la sala estuviese un poco más calurosa ☐ ☀️☀️

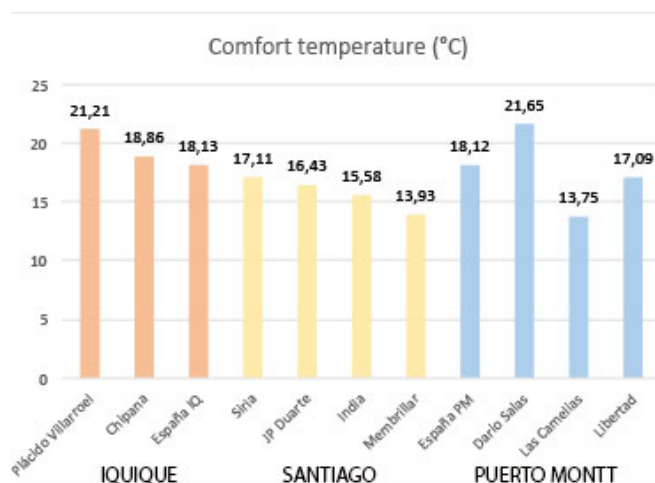
Me gustaría que la sala estuviese más calurosa ☐ ☀️☀️☀️

Me gustaría que la sala estuviese mucho más calurosa ☐ ☀️☀️☀️☀️

3. En este momento ¿Sientes que la temperatura de la sala es confortable?

Sí ☐ No ☐

**Figura 1.** Parte del cuestionario aplicado a los niños (fuente: Elaboración de los autores, basado en Teli et al. 2012)



**Figura 2.** Temperaturas de confort en invierno (fuente: Elaboración de los autores).

CASO DE ESTUDIO	IVE SINAE 2013 (%)	TEMPERATURA OPERATIVA MEDIA (°C)	TEMPERATURA DE CONFORT (°C)	NÚMERO DE VOTOS
IQ Plácido Villarroel	71,3	20,29	21,27	357
IQ Chipana	79,1	17,71	18,95	160
IQ España IQ	80,6	18,39	18,04	268
SCL República de Siria	37,6	15,63	17,13	398
SCL Juan Pablo Duarte	43,3	15,31	16,37	403
SCL República de India	80	15,02	15,58	288
SCL Membrillar	86,3	13,40	13,82	201
PM España PM	67,7	19,37	18,08	437
PM Darío Salas	71,8	18,78	21,73	376
PM Las Camélias	92,4	15,26	14,95	461
PM Libertad	93,1	17,57	17,08	215

**Tabla 1.** Resultados en invierno (fuente: Elaboración de los autores).

El trabajo de campo consistió en mediciones y cuestionarios. Las mediciones se realizaron mediante equipos Delta Ohm, modelo 32.3, ubicados a 1,1 m de altura en la parte posterior de cada aula, que registraron temperatura de bulbo seco, temperatura globo, humedad relativa del aire y velocidad del aire. Además, se dispuso un Data Logger Hobo U12-012 con un sensor de CO2 Unisource (rango de medición 0-5000ppm) para registrar la concentración de CO2 en las aulas. Las mediciones comprendieron periodos de cuatro días, tanto en invierno (julio o agosto) como en verano (noviembre o diciembre), durante el horario de ocupación de las aulas, que varía de 08:00 a 15:30 horas de lunes a viernes.

Los cuestionarios registraron la opinión de los niños en cuanto a sensación térmica, preferencia térmica, aceptabilidad térmica, vestimenta y actividad. Se aplicaron hasta 3 veces por día (08:30, 11:30 y 15:30 horas), con el objetivo de registrar la opinión de los niños frente a diferentes condiciones térmicas. Los cuestionarios se basaron en la encuesta ASHRAE 55, modificada según el trabajo de Teli, Jentsch y James (2012), quienes utilizan información gráfica y colores para mejorar la comprensión de los niños en relación a cada pregunta. Las preguntas de sensación térmica y preferencia térmica no incluyeron un valor numérico, como es habitual, sino que a cada concepto se le asignaron colores e

imágenes en base a la clásica escala de siete puntos, adaptando los conceptos a términos sencillos y familiares para los niños. La pregunta en relación a la vestimenta se simplificó, para incluir capas típicas utilizadas por los estudiantes sobre el uniforme (generalmente un polar o una chaqueta), así como también se simplificaron las alternativas de actividad, de manera de incluir aquellas que los niños realizan usualmente cuando están en la escuela (tales como estar sentado en clase o corriendo durante el recreo (figura 1).

CASO DE ESTUDIO	TEMPERATURA OPERATIVA MEDIA (°C)	CO <sub>2</sub> PROMEDIO (PPM)	CO <sub>2</sub> MÁXIMO (PPM)	CO <sub>2</sub> FRECUENCIA BAJO 1000 PPM (%)	SIMCE 2013 (PUNTOS)
<b>IQ</b> Plácido Villarroel	20,29	1462	3186	33	233
<b>IQ</b> Chipana	17,71	658	1347	95	206
<b>IQ</b> España IQ	18,39	1384	2510	31	230
<b>SCL</b> República de Siria	15,63	1874	4879	23	276
<b>SCL</b> Juan Pablo Duarte	15,31	1326	2347	26	296
<b>SCL</b> República de India	15,02	1766	3862	21	249
<b>SCL</b> Membrillar	13,40	1035	2088	53	237
<b>PM</b> España PM	19,37	2024	4999	23	269
<b>PM</b> Darío Salas	18,78	1593	4128	30	260
<b>PM</b> Las Camelias	15,26	1835	4918	27	258
<b>PM</b> Libertad	17,57	1519	3332	32	259

**Tabla 2.** Mediciones de temperatura y calidad de aire en invierno en relación al indicador de rendimiento académico SIMCE (fuente: Elaboración de los autores).

## 4. RESULTADOS.

### 4.1 Temperaturas de confort derivadas del trabajo de campo.

Los resultados de las mediciones muestran que las temperaturas operativas durante el período de ocupación en invierno fueron generalmente bajas, variando desde un promedio de 20,29°C en la Escuela Plácido Villarroel de Iquique, a solo 13,4°C en la Escuela Membrillar de Santiago. Las temperaturas interiores más bajas se registraron en Santiago debido, en parte, a la falta de un sistema de calefacción y a las temperaturas exteriores bajas. La temperatura operativa en Puerto Montt fue mayor que en Santiago, ya que las escuelas poseían un sistema de calefacción en funcionamiento (tabla 1). La temperatura de confort se obtuvo mediante el método clásico que correlaciona la temperatura operativa medida a través de los equipos, y la sensación térmica (TSV) según el voto de los niños registrado en el mismo momento. La sensación térmica se codificó en base a la escala de siete puntos de ASHRAE 55, que va desde muy fría (-3) hasta muy calurosa (+3), pasando por agradable/confortable (0). Los resultados para el

invierno son considerablemente inferiores a lo esperado según los modelos de confort establecidos internacionalmente para adultos, sobre todo en Santiago, donde la temperatura de confort percibida por los estudiantes es 4°C más baja que la temperatura calculada por el modelo de confort adaptativo, mientras que en Iquique y Puerto Montt la temperatura de confort es 2°C más baja.

Si bien el número de casos de estudio es limitado para establecer conclusiones con solidez estadística, es interesante observar que los resultados sugieren una correlación entre el Índice de Vulnerabilidad (IVE SINAIE) y la temperatura de confort en escuelas funcionado en régimen libre (Iquique y Santiago). Esto sugiere que los niños que provienen de sectores más vulnerables podrían estar acostumbrados a temperaturas muy bajas, debido a la pobreza de combustible que viven en sus hogares, por lo que tienden a ser más resistentes a las temperaturas bajas en la escuela. La figura 2 muestra un gráfico con los resultados de las temperaturas de confort de los once casos de estudios ordenados de norte a sur, y dentro de cada ciudad, de acuerdo al IVE SINAIE en orden creciente.

### 4.2 Confort ambiental y rendimiento académico.

La información recopilada en el trabajo de campo se utilizó también para determinar posibles relaciones entre el confort ambiental de los estudiantes y su rendimiento académico, lo que tiene como objetivo establecer los beneficios de mejorar la calidad de la construcción sobre la salud y el bienestar de los estudiantes, en lugar de los usuales beneficios en términos de reducción de costos de energía de operación.

En este sentido, hay que mencionar que la productividad en los edificios depende de la situación socioeconómica, la actividad y las características de los ocupantes. En particular, los edificios educativos incorporan consideraciones de diseño para promover un mejor aprendizaje a través de un ambiente interior diseñado para este propósito (Lan, Wargocki y Lian 2011; Mumovic, Palmer, Davies, Orme, Ridley, Oreszczyn, Judd, Cristchlow, Medina, Pilmoor, Pearson y Way 2009). Los datos recogidos en las 11 escuelas confirman las normas internacionales sobre la relación entre la calidad del aire interior, confort térmico y acústico. Sin embargo, se obtuvieron resultados mixtos en las concentraciones de CO<sub>2</sub> de los 11 establecimientos educativos, aunque en general las aulas analizadas



Figura 3. Diagrama de productividad académica (fuente: Elaboración de los autores).



Figura 4. Herramienta para la visualización de la predicción de temperaturas del aire y el confort térmico (fuente: Elaboración de los autores).

presentaron concentraciones altas. Si bien en Chile no existe una norma obligatoria que establezca valores límite para los niveles de concentración de  $\text{CO}_2$  en el aula, el Building Bulletin 101 de Reino Unido establece que la concentración promedio de  $\text{CO}_2$  en el aula no debe superar los 1500 ppm. Según esto, los resultados medidos son insatisfactorios, ya que todos los casos de estudio localizados en Puerto Montt y la mitad de los casos de Santiago alcanzan valores medios que superan los 1500ppm en horario de ocupación, mientras que dos casos de Puerto Montt alcanzan valores máximos cercanos a los 5000 ppm.

Sin embargo, se encontró que las concentraciones de  $\text{CO}_2$  son más altas en las escuelas con mejores resultados académicos (según lo determinado por la prueba nacional Sistema de Medición de la Calidad de la Educación o SIMCE para los estudiantes de cuarto año de la escuela primaria en 2013) que en aquellas con rendimiento académico más bajo y, por lo tanto, no es posible establecer una relación directa entre este indicador

y la productividad en los casos de estudio (tabla 2). Estos resultados de calidad del aire se deben a deficiencias en el sellado de ventanas y puertas, lo que aumenta el número de renovaciones de aire por hora. Como alternativa, las escuelas con indicadores de vulnerabilidad socioeconómica (IVE SINAE) más bajos presentaron temperaturas más altas en invierno y mayores concentraciones de  $\text{CO}_2$ . En general, en los casos de estudio analizados no se observa una clara correlación entre indicadores ambientales y el indicador de rendimiento académico SIMCE según lo esperado. Se estima que esto se debe a que el rendimiento académico depende de una serie de variables, donde la correlación más clara que se observa entre estos casos de estudio se encuentra en el indicador socio-económico IVE, donde los estudiantes menos vulnerables logran mejores resultados académicos. Por otro lado, es razonable deducir que la variabilidad de las escuelas estudiadas puede dificultar la comprensión de los factores y la medición de la productividad. Bell, Mabb, Garcia-Hansen, Bergman y Morawska (2003) mencionan que la productividad es, por un lado, fácil de definir pero, al mismo tiempo, muy difícil de medir en un ambiente relativamente pequeño donde las contribuciones individuales pueden influir en los resultados, en particular las interacciones sociales. Mediante un análisis en detalle, que separa los elementos de influencia significativa, se ha diseñado el siguiente esquema que define el método propuesto (figura 3).

### 4.3 Herramienta de visualización.

La metodología propuesta incluye también el desarrollo de una herramienta para visualizar los resultados de las simulaciones térmicas en los edificios cuando el output es la temperatura del aire interior, en lugar de la demanda de energía, en particular para los edificios pasivos o funcionando en régimen libre, los cuales no tienen un sistema mecánico de calefacción o refrigeración.

Las herramientas de simulación térmica de experto más comunes (TAS, Design Builder, ESP-r, etc.) permiten predecir resultados de temperatura del aire horarios de los recintos simulados, obteniendo hasta 8.760 resultados horarios por año, exportables a planillas Excel. Estos resultados son difíciles de analizar, ya que requieren referencias a períodos de ocupación y rangos de confort no disponibles en estos casos.

Debido a esto, la herramienta Visual Therm se elaboró en base a Visual Basic, de manera de permitir visualizar datos de archivos Excel que contienen resultados de simulación térmica, en base a definición de rangos de confort y codificación de colores.

Con esta herramienta, el diseñador puede exportar los datos de temperatura, elegir entre diferentes normas de confort (incluyendo modelos ASHRAE 55 y de confort adaptativo), seleccionar solo los períodos de ocupación -excluyendo vacaciones de verano e invierno si fuese necesario- y visualizar si los resultados de las simulaciones alcanzan los rangos de confort requeridos. El color verde ilustra las temperaturas que están dentro del rango de

confort, el color azul ilustra las temperaturas bajo el rango de confort y el rojo muestra aquellas sobre el rango de confort. La imagen al centro de la figura 4 permite visualizar un rango mensual y horario, mientras que los gráficos de torta permiten visualizar valores totales por recinto, siendo posible comparar los resultados entre hasta cinco recintos diferentes del edificio simulado.

## 5. CONCLUSIONES.

Los resultados de este proyecto de investigación se han traducido en una propuesta de metodología para apoyar el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes, en base a la definición de rangos de confort apropiados al contexto específico de escuelas en Chile, unidos a un modelo para la evaluación del bienestar derivado del confort ambiental y al desarrollo de una herramienta para la visualización de predicción de temperaturas. Los resultados del trabajo de campo sugieren que las normas de confort térmico actuales no son adecuadas para el caso de niños en edad escolar, ya que estos se sienten en confort a temperaturas que pueden variar entre 2°C y 4°C más bajo que las derivadas del modelo de confort adaptativo. También sugieren que la situación socioeconómica de los niños los hace más resistentes a bajas temperaturas. Los casos de estudio analizados no presentaron una relación clara entre indicadores de confort ambiental y el

indicador de rendimiento académico SIMCE, debido a las múltiples variables que influyen sobre este indicador como, por ejemplo, el nivel socio-económico de los estudiantes. Sin embargo, se propone un modelo de relaciones entre parámetros pertinentes. La metodología también implicó el desarrollo de una herramienta para la visualización de la predicción de temperaturas que resultan de la simulación térmica del edificio, lo que permite verificar de manera simple y eficiente si la propuesta de diseño cumple con los requisitos de confort térmico. La herramienta permite al diseñador utilizar diferentes rangos de confort, incluyendo los derivados de los trabajos de campo. Se espera que la herramienta y la propuesta para la determinación del rendimiento académico en relación a parámetros de confort ambiental ayudarán a promover el diseño de edificios pasivos que entreguen beneficios de bienestar a los niños, en lugar de los típicos beneficios de ahorro energético y de costos operacionales. ■■■

## REFERENCIAS

- Armijo, G., Whitman C. y Casals, R., 2011. "Post-occupancy evaluation of state schools in 5 climatic zones of Chile." *Gazi University Journal of Science*, 24 (2), 365-374.
- Bell, J., Mabb, J., Garcia-Hansen, V., Bergman B. y Morawska, L., 2003. "Occupant health and productivity: An Australian perspective." En *Summary Book of The CIB 2003 International Conference on Smart and Sustainable Built Environment*, 19-21 November 2003, Brisbane.
- Bluyssen, P., 2014, *The healthy indoor environment: How to assess occupants' wellbeing in buildings*. London: Routledge.
- Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción Universidad del Bío Bío (CITEC UBB), 2012. *Guía de eficiencia energética de establecimientos educacionales*.
- Dascalaki, E. y Sermpetzoglou, V., 2011. "Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic schools." *Energy and Buildings*, 43 (2-3), 718-727.
- Lan, L., Wargocki P. y Lian, Z., 2011. "Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort." *Energy and Buildings*, 43, 1057-1062.
- Ministerio de Educación Chile. 1988. *Decreto Supremo 548/1988*, Santiago.
- Montazami, A. y Nicol, F., 2013. "Overheating in schools: Comparing existing and new guidelines." *Building Research and Information*, 41 (3), 317-329.
- Mumovic D., Palmer J., Davies M., Orme M., Ridley I., Oreszczyn T., Judd C., Cristchlow R., Medina R., Pilmoor R., Pearson C. y Way, P. 2009. "Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England." *Building and Environment*, 44 (7), 1466-1477.
- Sensharma, N., Woods, J. y Goodwin, A., 1998. *Relationship between the indoor environment and productivity: A literature review*. ASHRAE Transactions.
- Teli, D., Jentsch, M., y James, P., 2014. "The role of a building's thermal properties on pupils' thermal comfort in junior school classrooms as determined in field studies." *Building and Environment*, 82, 640-654.
- Teli, D., Jentsch, M., James, P., 2012. "Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children." *Energy and Buildings*, 53, 166-182.
- Theodosiou, T. y Ordoimpozanis, K., 2008. "Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece." *Energy and Buildings*, 40 (12), 2207-2214.
- Trebilcock, M., Bobadilla, A., Piderit, M., Guzmán, F., Figueroa, R., Muñoz, C., Sánchez, R., Aguilera, C. y Hernández, J., 2012. "Environmental performance of schools in areas of cultural sensitivity." *Proceedings of PLEA 2012 (Passive Low Energy Architecture) Conference, Lima*.