

# Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI

*Nota 5.*

*Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares*

Gustavo San Juan

Consultor asociado: Arq. Santiago Hoses

Colaboradora: Dra. Irene Martini

Diciembre 2014

Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

Copyright © 2014 Banco Interamericano de Desarrollo.

Todos los derechos reservados; este documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales. Se prohíbe el uso comercial o personal no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de conformidad con las políticas del Banco y/o las legislaciones aplicables.

**Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo**

San Juan, Gustavo.

Aprendizajes en las escuelas del siglo XXI: nota 5. Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares / Gustavo San Juan, Santiago Hoses, Irene Martini.

p. cm.

1. Education—Latin America. 2. Knowledge and learning—Latin America. 3. Energy auditing—Latin America. I. Hoses, Santiago. II. Martini, Irene. III. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Educación. IV. Título

Fotografía de la tapa: Escuela No. 4-127 Polivalente de Arte, San Rafael, Mendoza, Argentina

Fuente: Ministerio de Educación de la Nación Argentina

# Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares

## Introducción

El estudio de los niveles de confort permite tener en cuenta aquellos factores propios del equilibrio entre el cuerpo humano y el ambiente que intervienen en la edificación, con el objeto de lograr que los espacios habitables—en este caso, aulas escolares— se encuentren dentro de lo que se llama comúnmente *zona de bienestar* o confort (llamado *zona de vida* en otros países). Es necesario, entonces, la concreción de un diseño adecuado, que brinde parámetros y factores con los cuales generar soluciones concretas.

La importancia de implementar *auditorías ambientales* donde se identifiquen los niveles reales de los parámetros involucrados, así como se comparen los niveles alcanzados respecto de los establecidos por la normativa nacional e internacional, es poder arribar a conclusiones y recomendaciones que guíen el diseño de edificios escolares existentes (*Retrofit*) o de edificios nuevos.

La determinación de la zona de confort involucra una serie de parámetros cuyos valores son el resultado de estudios realizados por instituciones nacionales, internacionales y equipos técnicos especializados, que estiman los valores admisibles para los distintos lugares, climas y actividades desarrolladas. Esta zona, define un estado psicofisiológico bajo el

cual la mayoría de los habitantes de un espacio manifiestan un cierto grado de satisfacción con el medio ambiente que los rodea. Implica un equilibrio entre las condiciones ambientales externas y las internas de un espacio dado, permitiendo la realización de las diversas actividades planificadas en condiciones confortables y satisfactorias.

Al hablar de confort ambiental, se debe hacer referencia a una serie de condicionantes o factores, que se pueden dividir en:

- Ambientales, tales como confort higrotérmico, lumínico, y acústico, y calidad de aire.
- Arquitectónicos, como adaptabilidad del espacio, contacto visual, auditivo, estético.

Se debe entender que estas condiciones de confort presentan características diferenciales en función del punto de vista subjetivo de cada uno de los alumnos que se encuentran dentro de un espacio educativo, en un momento determinado. El equilibrio entre los factores que determinan estas condiciones es esencial para desarrollar la actividad escolar con la mayor eficacia, sin afectar la salud del estudiante.

En este sentido, se entiende que el correcto diseño del espacio educativo debe favorecer las condiciones para que la actividad de enseñanza-aprendizaje,

se desarrolle sin perturbaciones, ni molestias, sin daños fisiológicos, sin alterar y agravar las condiciones normales de confort que se requieren. El diseño del edificio y su entorno se convierten en un hecho fundamental, donde los principios de equilibrio bioclimáticos (entre clima y vida), así como de eficiencia energética, son requerimientos esenciales, aplicables en las escuelas del siglo XXI.

Para el caso del análisis de los edificios estudiados, el cuidado de las condiciones lumínicas, a partir de un correcto diseño de aquellos sectores de la envolvente edilicia coincidentes con los aventanamientos, aparece como un factor fundamental. Así mismo, el tratamiento adecuado de la envolvente edilicia debería garantizar que esta oficie de mediadora entre clima interior y exterior, tanto para el período estival como para el invernal. La calidad acústica de los espacios es otra de las variables significativas que se deben tener en cuenta.

En este trayecto, la importancia de generar estudios específicos sobre la realidad latinoamericana pone en evidencia la necesidad de acordar metodologías comunes y prácticas consensuadas, con las cuales arribar a conclusiones y recomendaciones para poder definir estrategias y desarrollar políticas de intervención en el sector.

## Metodología

A través de las *auditorías ambientales de percepción del usuario*, entre las que se incluyen *auditorías detalladas* de aulas escolares que abordan aspectos subjetivos y objetivos, se intenta identificar cuáles son las variables ambientales significativas, así como determinar las condiciones reales y su relación con la normativa, que pueden afectar el aprendizaje.

La aplicación de criterios de *eficiencia energética* (EE), así como de sustentabilidad ambiental (SA) en establecimientos escolares en el marco de *mejores prácticas*, pone en relevancia la necesidad de contar con un conocimiento de la situación que se registra

en las aulas y, en función de ello, abordar acciones superadoras en lo que respecta a:

- La producción de nuevos espacios escolares en condiciones adecuadas de confort.
- La promoción de la educación en el marco del desarrollo sustentable (DS), con lo cual mejorar el desempeño de los usuarios.
- La disminución de los consumos energéticos, los costos operativos y las emisiones a la atmósfera de gases efecto invernadero (GEI).
- El logro de que las escuelas se transformen en “modelos educativos”, que impliquen transformaciones en el ámbito de la comunidad escolar.

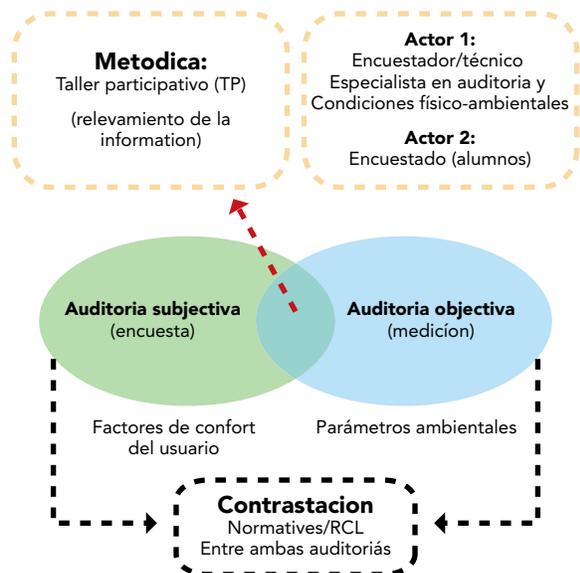
¿Para qué sirve la realización de una auditoría “puntual”, que relaciona la percepción del usuario y las condiciones ambientales del espacio áulico?

La evaluación de las condiciones ambientales de un edificio puede resolverse mediante la realización de auditorías, incorporando la medición o registro de *parámetros ambientales*<sup>1</sup> y el sondeo de los *factores de confort* del usuario<sup>2</sup>, derivados de su percepción (Gráfica 1). En el primer caso, se recurre a registros que definen la calidad ambiental a partir de mediciones instantáneas y continuas; en el segundo caso se trate de factores subjetivos que se recaban a través de una encuesta de percepción de usuarios. La inclusión de la opinión del usuario respecto de las condiciones

1. Parámetros ambientales: “Son aquellas características objetivables de un espacio determinado, que pueden valorarse en términos energéticos y que resumen las acciones que, en dicho espacio, reciben las personas que lo ocupan. Como tales, dichos parámetros pueden analizarse con independencia de los usuarios y son el objeto directo del diseño ambiental en la arquitectura”. Rafael Serra. *Arquitectura y climas*. GG Básicos. Barcelona (1999).

2. Factores de confort: “Son aquellas características que corresponden a los usuarios del espacio. Son por lo tanto condiciones exteriores al ambiente, pero que influyen en la apreciación de dicho ambiente por parte de esos usuarios. Estas condiciones personales serán de distinto tipo, según se trate de condiciones: biológico-fisiológicas (como edad, sexo, herencia, etc.), condiciones sociológicas (como el tipo de actividad, la educación, el ambiente familiar, la moda, el tipo de alimentación o la aclimatación cultural), y psicológicas, según las características individuales de cada uno de los usuarios”. Rafael Serra. *Arquitectura y climas*. GG Básicos. Barcelona (1999).

**GRÁFICA 1.**  
**Metodología planteada para la auditoría ambiental de percepción del usuario [AAPU]**



ambientales de su espacio habitable permite, por un lado, valorar situaciones de referencia basadas en condiciones preexistentes (vida cotidiana) y, por otro, conocer cuáles son las modalidades de sensación y reacción ante el malestar. Se trabaja con datos subjetivos, los cuales dependen de múltiples circunstancias, sean estas culturales, psicológicas, fisiológicas, sociales u otras. Las condiciones de confort ambiental registradas se comparan con los valores normativos y con la valoración de los propios usuarios para extraer conclusiones y recomendaciones. Con este tipo de técnicas, no solo se describe la situación real, sino que se pueden relacionar los resultados de ambas metodologías construyendo y verificando nuevas hipótesis.

Este tipo de auditoría se realiza generalmente sobre el aula, a partir de entender que es el espacio dentro de una escuela que: (i) está fundamentalmente dedicado a producir el proceso de enseñanza-aprendizaje; (ii) tiene mayor incidencia en el consumo de energía; (iii) requiere de mayor precisión en cuanto a la determinación de sus parámetros de confort

(iluminación, temperatura, humedad, sonido, calidad del aire); (iv) tiene mayor representatividad en un edificio escolar. (v) posee mayor grado de ocupación. (San Juan, 2008<sup>3</sup>)

Para la realización del presente estudio, se han desarrollado una serie de "protocolos de actuación". Por un lado, con el objeto de garantizar una adecuada aplicación del conocimiento de los equipos técnicos de los países intervinientes y, por otro, el de posibilitar un análisis común de la información, bajo determinados parámetros. Habiéndose realizado las *Auditorías Ambientales y de Percepción del Usuario (AAPU)* y completado el *Sistema de Procesamiento de Auditoría Objetiva y Subjetiva (SISPA O+S)* en cada uno de los países, se desarrolló una metodología específica de análisis para abordar su diagnóstico<sup>4</sup>.

Este diagnóstico se basa en un número mínimo de variables ambientales necesarias para caracterizar el medio ambiente del aula, valoradas en una encuesta de percepción del usuario, y en las mediciones objetivas obtenidas con instrumental específico. El procesamiento de la información implica: (i) presentar en forma descriptiva los resultados; (ii) analizar comparativamente las experiencias; (iii) vincular los resultados de las mediciones ambientales con la percepción de los usuarios; (iv) comparar los resultados con la normativa local o internacional.

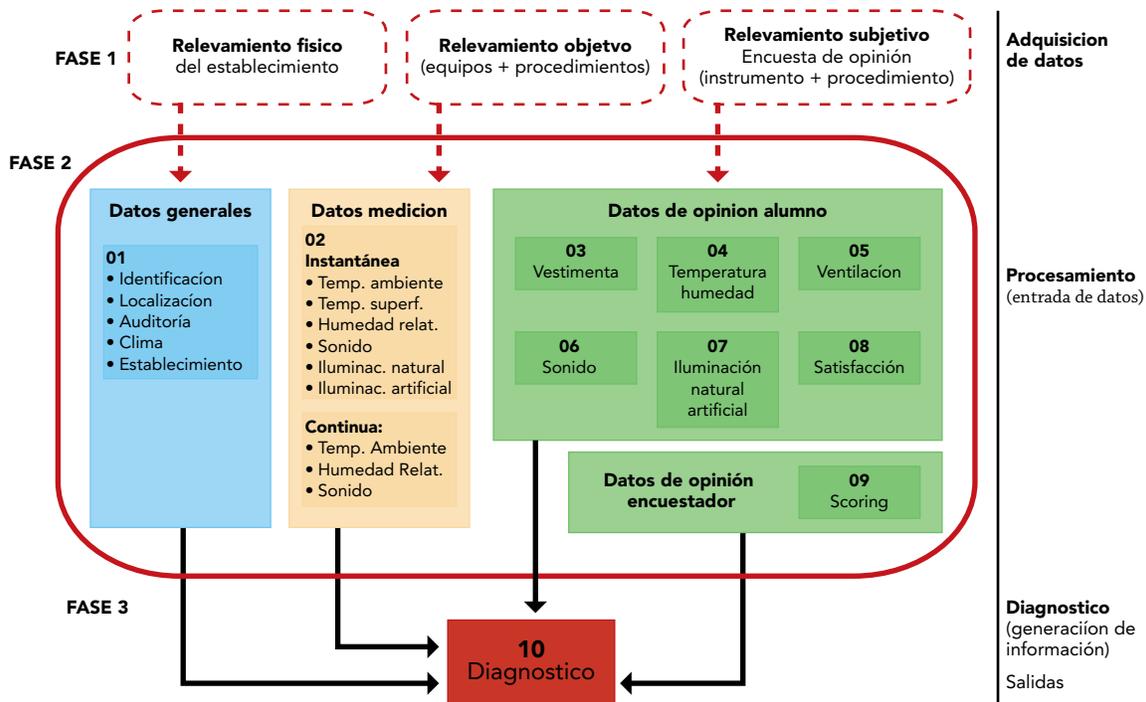
A continuación, se detalla en forma simplificada la metodología empleada en la AAPU y procesada a través del SISPA O+S, en función de los diferentes procesos, técnicas y equipos involucrados. En la Gráfica 2, se detalla cada una de las fases.

Fase 1: La adquisición de los datos se resolvió a partir de la articulación de tres aspectos:

3. San Juan, Gustavo A. (2008). "Comportamiento energético-productivo y ambiental de la gestión de redes edilicias de educación. Un enfoque sistémico en el continuo de las escalas del hábitat". Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Salta. Argentina (UNSa).

4. "Análisis de la Auditoría energética y de condiciones de confort en establecimientos educacionales (6 países)". Proyecto: "Aprendizaje en las Escuelas del siglo XXI". BID RG-T2011. Dr. Arq. Gustavo San Juan - Arq. Santiago Hoses. 27 de septiembre de 2013.

GRÁFICA 2.  
Esquema metodológico



- Relevamiento físico del establecimiento y del aula.
- Relevamiento objetivo, de los parámetros ambientales del aula.
- Relevamiento subjetivo. Como herramienta para la adquisición de datos se utilizó una encuesta, la cual está constituida por un cuestionario simple en formato papel diseñado *ad hoc*, dirigido a alumnos de nivel primario. Su completamiento fue realizado durante el desarrollo de la clase con la modalidad de taller participativo.

Fase 2: Tanto los datos subjetivos obtenidos como los objetivos derivados de la auditoría ambiental fueron cargados en el sistema de procesamiento diseñado en base a planillas de cálculo de formato Excel, que proporciona la ventaja de trabajar en un entorno numérico, gráfico, abierto, flexible y de uso común. Esta herramienta tiene por objeto asimilar

las diferencias regionales y sistematizar las múltiples dimensiones bajo un procesamiento común, implicando un primer abordaje del análisis.

Fase 3: Con la información resultante, se analizó la muestra a partir de técnicas estadísticas y se elaboraron diagnósticos y conclusiones, en tres niveles de análisis: a) por aula y establecimiento educativo; b) por país; y c) entre países. Se han tenido en cuenta diversas consideraciones metodológicas y parámetros internacionales con el objeto de poder comparar las diferentes situaciones climáticas de cada país y región. Los criterios y parámetros normativos considerados fueron los siguientes:

- Rangos de confort local (RCL), establecidos por el equipo auditor de cada país.
- Rango de confort general (RCG), adoptando la zona de confort, desarrollado por el Dr. B. Givoni

y las pautas de diseño expuestas en el “Diagrama bioclimático”, corregido para diferentes alturas sobre nivel del mar (ASNM)<sup>5</sup>.

- *Mapa de confort*, modelo desarrollado por el Dr. G. Gonzalo Weilbacher<sup>6</sup>, el cual brinda las temperaturas medias durante los doce meses del año y las 24 hs del día, a partir de las temperaturas medias mensuales. En él, se visualizan las condiciones térmicas horarias de las diferentes localidades, en función de adoptar los rangos de confort local (RCL) de cada país.
- Rango de sonido (según la Organización Mundial de la Salud, OMS), considerando niveles excesivos por encima de los 65db<sup>7</sup>).
- Rango de confort, común a todos los países, en cuanto a iluminancia interior para aulas escolares. Mínimo = 300lux y máximo 750lux, con un valor medio recomendado de 500 lux<sup>8</sup>.
- Coeficiente de uniformidad mínimo de 0,3<sup>9</sup>.
- Rango de Clo: 0 a 0,5= ropa muy liviana; 1= liviana; 1 a 2 ropa abrigada; mayor de 2= muy abrigada<sup>10</sup>.
- Valoración por parte del técnico auditor: menor de (-5) = Desfavorable; de (-5) a (5) = Normal; mayor de (5) = Favorable.

5. Baruch Givoni. “Man, Climate and Architecture”. *Building Research Station, Israel Institute of Technology*. Editorial Elsevier. 1969.

6. Guillermo Gonzalo Weilbacher. Director del Instituto de Acondicionamiento Ambiental de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

7. En aulas: mayor de 45db: ininteligibilidad de la palabra, perturbación de la comunicación del mensaje; mayor de 75db, impedimento de la audición; mayor de 80/90db con exposiciones prolongadas, pérdida de la audición; 100db, umbral tóxico (OMS).

8. Norma IRAM-AADL J 20-04, AADL J 20-04 y MCEN-1997 de Argentina; TDR DA-MOP 2012 de Chile; Norma Europea UNE-EN 1264-2-2008; Building Bulletin 87 2003 de UK; Norma USA IESNA Lighting Handbook 2000).

9. Building Bulletin 87 2003 UK.

10. Clo es una unidad de medida empleada para el índice de indumentaria (ropa o vestimenta más otros accesorios). La unidad se define como el aislamiento térmico necesario para mantener a una temperatura estable y cómoda la piel durante ocho horas, cuando una persona está en reposo a una temperatura de 20°C, con una humedad relativa del 50% y sin influencia de la radiación solar. La unidad equivale a un aislamiento térmico de: 1 Clo = 0,155 m<sup>2</sup>·K/W.

Para realizar el análisis regional y establecer las pautas de diseño bioclimático, se realizaron los mapas de confort de cada localidad a partir de la relación entre temperatura (°C) y humedad relativa (%) media anual. Asimismo, se estudiaron las pautas bioclimáticas para cada localización y para cada situación de aula auditada. En la Gráfica 3, se ofrece una explicación del análisis de los parámetros higrotérmicos y la determinación de pautas de diseño para el caso Tucumán, Argentina.

En la Gráfica 3.a, se analizan las condiciones climáticas a partir de comprender la variación de los registros higrotérmicos anuales, máximos, medios y mínimos, que corresponden a los meses más cálidos y más fríos, respectivamente.

En la Gráfica 3.b, se observa la localización en el diagrama de los parámetros higrotérmicos, según la medición realizada en cada aula en las diferentes estaciones. Esta ilustración brinda la información necesaria para establecer las pautas de diseño por implementar para que dichos parámetros se encuentren dentro de la zona de confort.

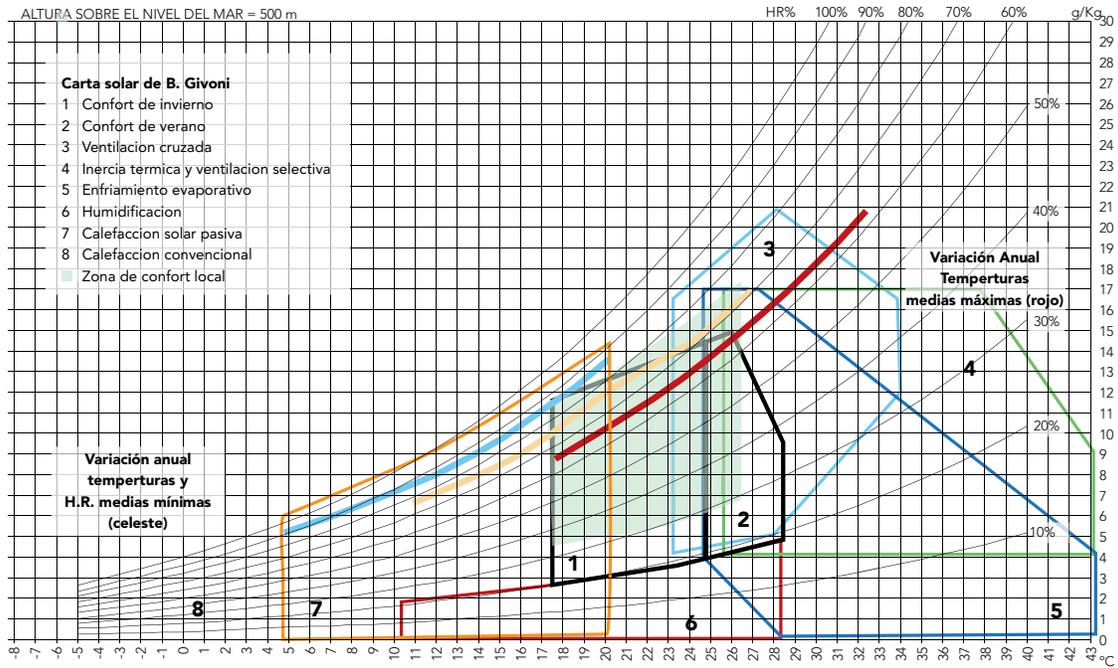
Por ejemplo, en el caso analizado de Tucumán, Argentina, es necesario incorporar aire caliente en invierno (por ganancia solar o sistemas tradicionales) y en el verano, generar ventilación cruzada para eliminar el calor excedente, con lo cual llevar los valores de temperatura y humedad a la zona de confort.

## Muestra de trabajo

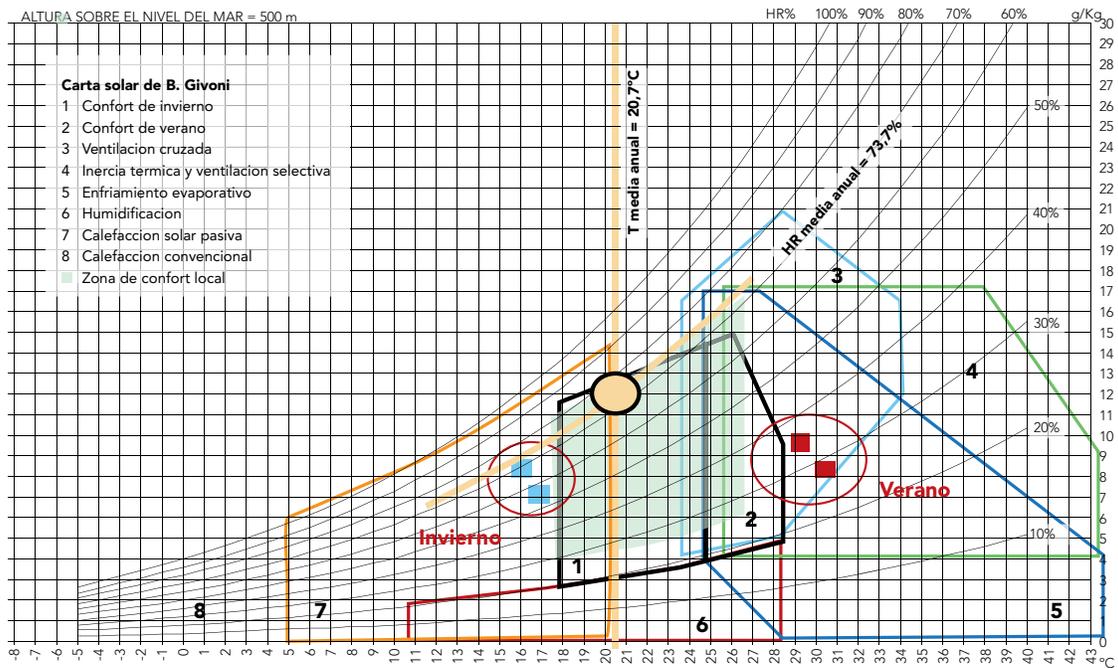
La muestra sobre la cual se trabajó para el presente estudio, luego de un proceso de análisis de consistencia de sus datos<sup>11</sup>, está conformada por un total de 39 edificios en sendas localizaciones, perteneciente a seis países, en orden alfabético: Argentina (AR), Chile (CL), Colombia (CO), Costa Rica (CR), México (MX) y República Dominicana (RD). Se realizaron las auditorías ambientales en dos estaciones según el país

11. La muestra de trabajo, está formada por aquellos casos con suficiente consistencia como para ser integrados al análisis, habiéndose anulado, aquellos con registros incompletos y contradictorios.

**GRÁFICA 3.A.**  
**Situación higrotérmica en función de medias anuales.**  
 Mínima (celeste), media (amarillo) y máxima (rojo).



**GRÁFICA 3.B.**  
**Situación higrotérmica de cada aula respecto de la zona de confort (sombreado verde) y de la media anual (punto amarillo).**  
 Puntos celestes: invierno; puntos rojos: verano.



## GRÁFICA 4.

## Principales datos del estudio realizado, por país interviniente

|                          | MX  | CO             | AR  | RD  | CR  | CH  | Total |
|--------------------------|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-------|
| Localizaciones           | 5   | 8              | 6   | 9   | 6   | 5   | 39    |
| Estaciones climáticas    | 2   | 1 <sup>a</sup> | 2   | 2   | 2   | 2   | 2     |
| Cantidad aulas auditadas | 20  | 16             | 22  | 18  | 24  | 17  | 117   |
| Cantidad de alumnos      | 516 | 453            | 464 | 432 | 438 | 374 | 2677  |

a. Una estación climática, pero como son dos aulas por escuela el total de aulas es 16.

(invierno / verano, otoño / primavera o lluviosa / seca). En cada establecimiento escolar, se analizaron dos aulas ubicadas en posiciones opuestas (N-S o E-O), lo que implicó cuatro auditorías por establecimiento, con excepción de RD y CO, donde se realizaron solo dos mediciones por establecimiento.

La cantidad de aulas analizadas corresponden a un total de 117 casos, y la población estudiantil que respondió la encuesta y que participó de la experiencia es de 2.677 alumnos. La base total de registros está conformada por 1.296.960 campos, más datos no cuantificables obtenidos en la auditoría de campo (Gráfica 4).

### Análisis entre países

La técnica de adquisición de información utilizada se denomina análisis postocupacional, habiéndose trabajado sobre parámetros que fueron contrastados con los rangos de confort local (RCL) de cada país y localización, y con los parámetros de confort establecidos por las normas internacionales.

A grandes rasgos, la producción de infraestructura escolar debería atender los siguientes puntos:

- Proporcionar máxima eficacia para alcanzar las condiciones ambientales que favorezcan el aprendizaje.
- Proporcionar las condiciones ambientales internas con las cuales lograr espacios adecuados que garanticen “un estado de completo bienestar físico, mental y social” (OMS).

- Minimizar los costos de construcción, así como los costos operativos y de mantenimiento.
- Incorporar criterios de eficiencia energética (EE), a partir de aplicar pautas de conservación de la energía (CE) y de la incorporación de sistemas pasivos de climatización (SP).
- Introducir materiales amigables con el ambiente y con el propio usuario.
- Reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera (SO<sub>2</sub>, Co, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, HC, COV), sobre todo, en aquellos casos que se requiere del consumo de energías convencionales, no renovables.
- Responder a los estudios específicos en la materia, así como a la normativa local e internacional que regulan los estándares más adecuados.
- Favorecer la calidad ergonómica y de flexibilidad ante cambios pedagógicos.

A través del diagnóstico, se verifica que el confort higrotérmico es uno de los principales aspectos que hay que tener en cuenta, ya que puede mejorarse a partir de la incorporación de equipos de acondicionamiento o, en forma alternativa, por un diseño edilicio adaptado al medio ambiente y al clima que lo condiciona.

Se observa en general una significativa diferencia entre los niveles registrados y los rangos de confort local establecidos. Aproximadamente el 30% de la muestra se encuentra dentro de la zona de confort y el 70% fuera de ella. Se entiende que su aproximación o

inclusión, debiera estar dada en primera instancia por el propio edificio y luego por los sistemas de climatización alternativos.

Por ejemplo, Argentina, posee localizaciones en climas cálidos, templados y fríos, diferentes alturas sobre nivel del mar, en situaciones costera o mediterránea y estaciones diferenciadas (invierno y verano). En el período invernal, se observa una diferencia entre la temperatura exterior y la interior, debido a la incorporación de calor mediante equipos de calefacción (a gas natural), como es el caso de la escuela de Bariloche. Esta diferencia implica consumo de energía y emisión de contaminantes a la atmósfera, lo cual puede ser disminuido por la inclusión de sistemas solares pasivos (SSP). Para estas situaciones críticas, se debería incorporar calentamiento de aire interior: (i) por sistemas tradicionales; (ii) por el uso de criterios bioclimáticos, mediante la orientación norte de las posibles superficies captadoras de la radiación solar; o (iii) por incorporación de sistemas pasivos de producción térmica, como colectores solares de aire livianos (CSA) o muros pesados acumuladores de calor (MAC), según el factor de uso (Fu) del edificio (Gráfica 5).

En el período estival, tanto en Tucumán como en Resistencia, se registran niveles de temperatura por encima del RCL (Gráfica 6). Para estos casos, la temperatura exterior es más baja, lo que significa que se incorpora el calor sensible de las personas y se produce un sobrecalentamiento de la masa edilicia. Para los casos restantes, se advierte que el edificio se comporta en forma correcta, atenuando las condiciones externas. No se evidencia relación entre temperatura interior registrada y la orientación del aula.

Para el caso de Resistencia, los registros continuos de temperatura, evidencian que estas se encuentran por encima de los rangos de confort ( $26^{\circ}\text{C}$ ), mientras que, por un factor de acostumbramiento, solo una tercera parte de los alumnos opina que tiene calor (33%), sin embargo, el 43% manifiesta que transpira (Gráficas 7 y 8).

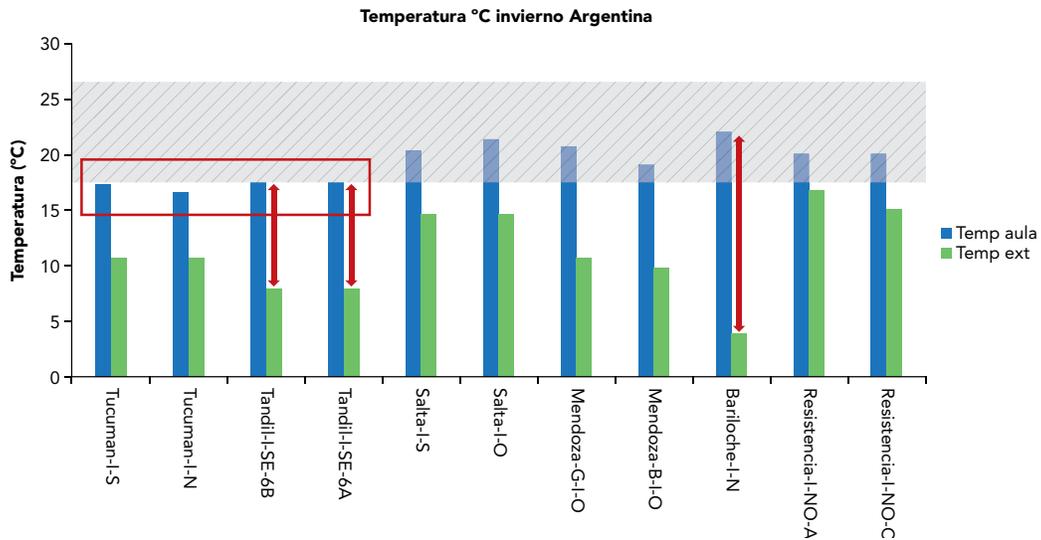
Si analizamos el caso de México, en cuanto a la variable temperatura interior, tanto en invierno como en verano, se observan situaciones fuera del rango de confort, por falta o exceso de energía calórica. En invierno, entre el 40% y 60% de los alumnos opina que está en confort, con temperaturas por debajo de la zona admisible, lo cual evidencia un grado de acostumbramiento a condiciones desfavorables. En el verano, en los casos de Campeche y Juárez, la opinión positiva es menor al 35% con temperatura interior por encima de lo aconsejable. Implica que la mayoría de los alumnos (más del 65%) manifiesta encontrarse en una situación desfavorable (Gráfica 9). En cuanto a la concentración de humedad relativa, la totalidad de los casos estudiados se encuentran dentro del rango de confort, aunque los alumnos que opinan que están en confort varían entre un 20% y un 60%.

Se ha considerado la importancia de la opinión subjetiva del alumno, expresada tanto en la encuesta como mediante el registro de la adopción de su abrigo (Clo), y se entiende que es una respuesta frente a su grado de discomfort en relación con la variable analizada. Se concluye que las condiciones climáticas externas, que influyen en las internas, tienen correlación con el grado de abrigo, aunque este seguramente está influenciado no solo por los parámetros externos, sino también por los hábitos domésticos y por cierto grado de acostumbramiento.

Por ejemplo, para el caso de Colombia, en el análisis del Clo vs. la temperatura en el período lluvioso, se observa que, para situaciones térmicas por encima de las condiciones de confort local, la respuesta de los alumnos en cuanto a su vestimenta es estable y con un Clo promedio de 0,5 (Nota: 0 a 0,5 = ropa muy liviana) y con máximos de 1,3, o sea, ropa abrigada. En el período lluvioso, la respuesta de los alumnos que se encuentran en situación de confort muestra que la media es de 0,75, con lo cual incorporan sobre su cuerpo menos ropa (Gráfica 10). Obsérvese la contradicción, para el caso de Yopal, donde el 72% manifiestan estar en confort, pero transpira el 64% de los alumnos. (Gráfica 11). Cuando analizamos el período

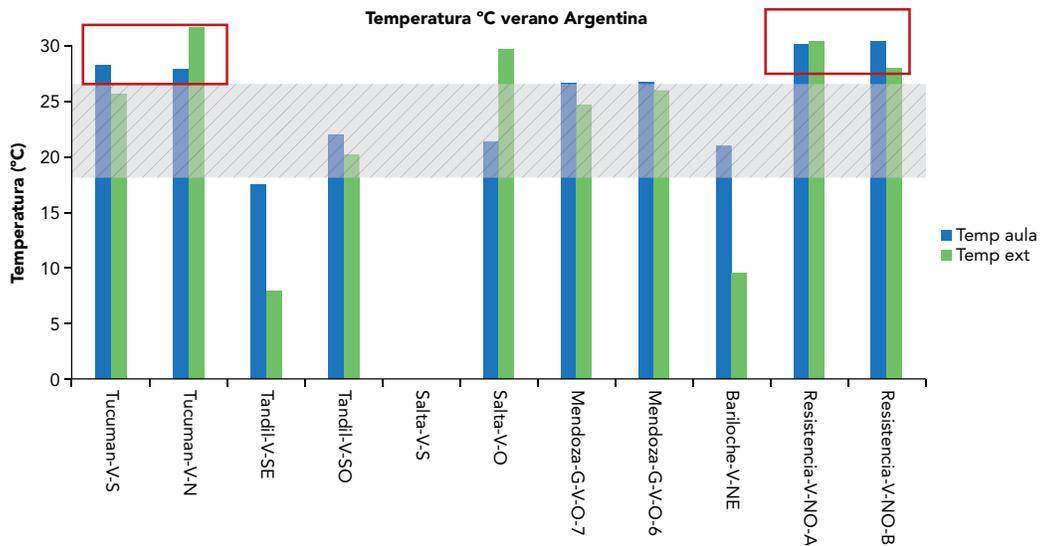
GRÁFICA 5.

Niveles de temperatura interior (°C) registrados en el aula. Invierno



GRÁFICA 6.

Niveles de temperatura interior (°C) registrados en el aula. Verano



seco, dentro de la zona de confort, el Clo se mantiene estable con una media en 0,65. Pero en situación de malestar por temperaturas elevadas, la respuesta es aproximadamente de 0,4 (Gráfica 12). Para el caso de Manaure, el 46% de los alumnos dice estar bien y sólo transpira el 26% (Gráfica 13).

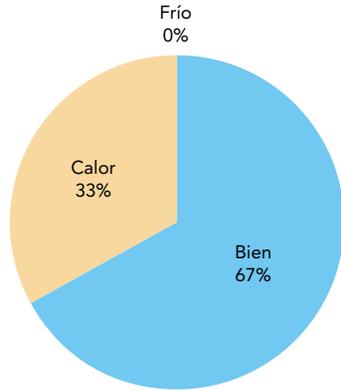
En la Gráfica 14, se observa la correlación entre los registros de temperatura interior y humedad relativa.

Sólo el 20% de los casos se encuentran en situación de confort higrotérmico (dentro de la zona de confort general adoptada). Se debe aclarar que, para un análisis más preciso, se debe tener en cuenta el RCL de cada país. Asimismo, la mayor concentración de opinión positiva (elipse roja) de los alumnos encuestados corresponde a RD, CR y CO con un sensible desplazamiento del peso de la opinión hacia mayor contenido

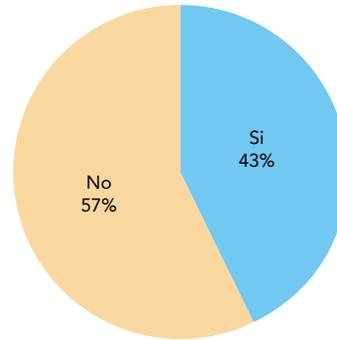
GRÁFICAS 7 Y 8.

Resistencia, verano—Opinión de los alumnos encuestados

a. ¿Estás bien, tienes frío o tienes calor?



f. ¿Transpira el encuestado?



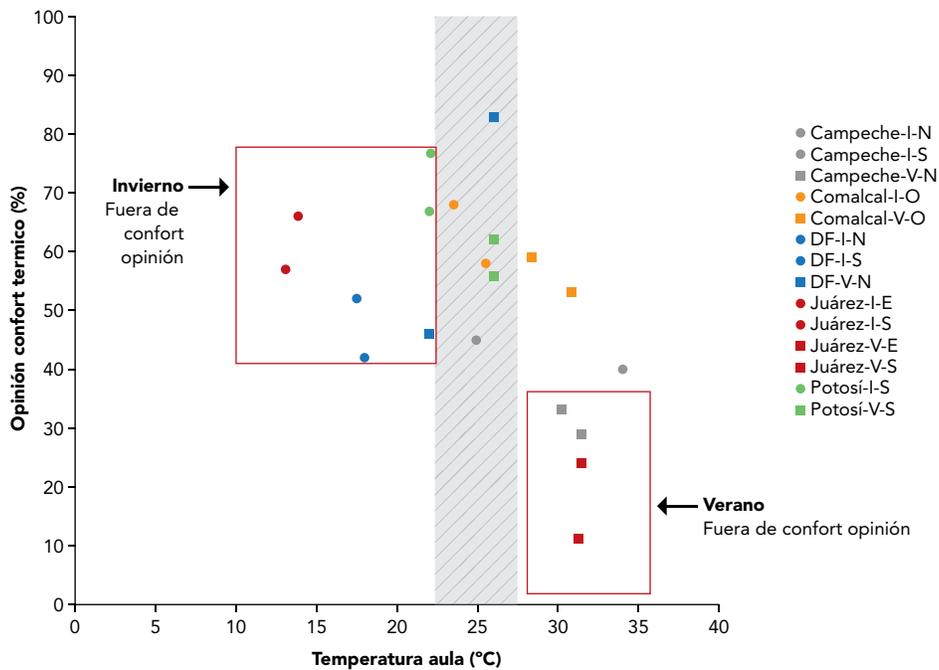
de humedad y temperatura. Esta situación se verifica en países con climas templados y cálidos, lo cual evidencia un grado de acostumbramiento corporal y cultural a esta condición.

Esta lectura de la situación real brinda dos conclusiones centrales:

(i) Que la condición climática exterior se manifiesta directamente en la condición ambiental interior, agravándose en muchos casos por la disipación de temperatura y humedad relativa, derivadas de la propia ocupación y actividad (ocupantes, equipamiento).

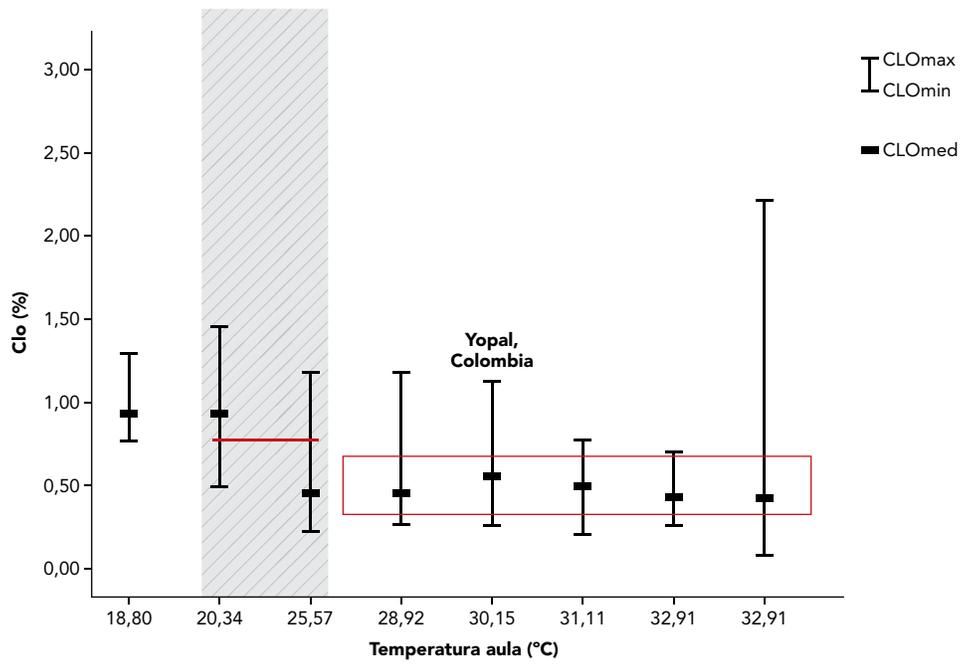
GRÁFICA 9.

Condición térmica en relación al porcentaje de alumnos mexicanos que opinan estar en confort



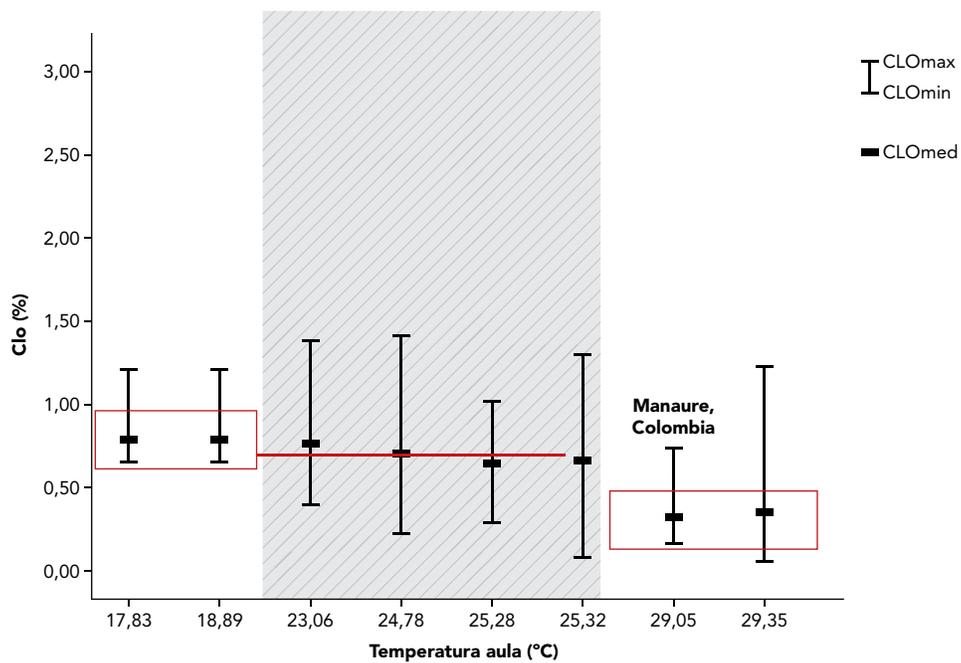
GRÁFICA 10.

Clo máx, min y med. Según temperatura del aula. Lluvioso.



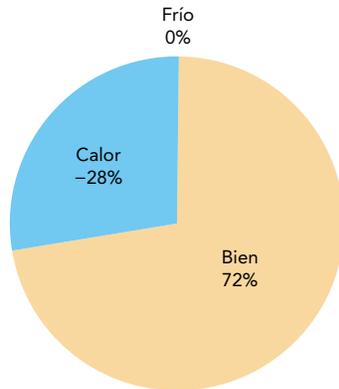
GRÁFICA 11.

Clo máx, min y med. Según temperatura del aula. Seco.

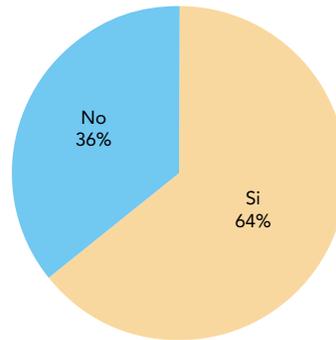


GRÁFICA 12.  
Yopal, Colombia. Lluvioso.

¿Estás bien, tienes frío o tienes calor?

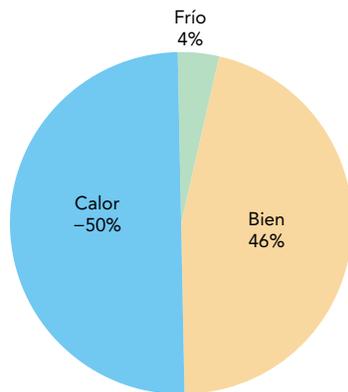


¿Transpira el encuestado?

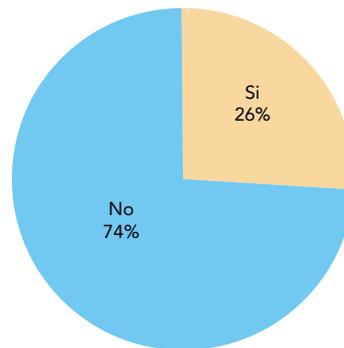


GRÁFICA 13.  
Manaure, Colombia. Seco.

¿Estás bien, tienes frío o tienes calor?



¿Transpira el encuestado?



(ii) Que los edificios auditados no resuelven en su totalidad esta situación, lo que implica la necesidad de mejorar los diseños en función de pautas bioclimáticas que atiendan a las condiciones climáticas regionales y microrregionales, tanto en la concepción global del edificio, así como en sus componentes (muros, pisos, techos, aventanamientos y puertas). Para la muestra auditada, el 80% de las aulas se encuentra fuera del rango de confort adoptado por el país.

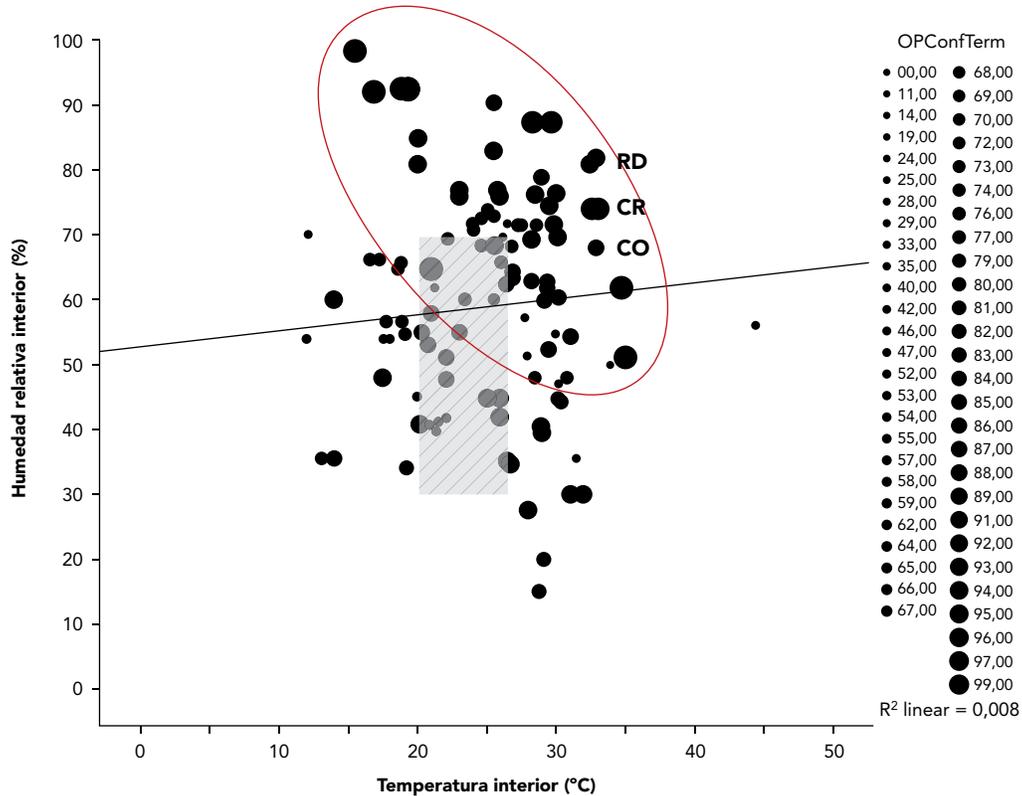
En cuanto a la opinión de los alumnos en relación al confort térmico, el 28% del total de encuestados

manifiesta encontrarse en confort según RCL adoptado: el 20% estar en confort pero con temperaturas por debajo de lo admisible (20°C) y el 52% restante estar en confort con temperaturas superiores a 26°C. Es evidente que se percibe un cierto grado de acostumbramiento corporal a condiciones críticas. Seguramente, se deberían realizar estudios específicos en cada país para verificar o adaptar la normativa vigente.

La creencia general es que la orientación solar del edificio es una variable importante por tener en cuenta, bajo la aseveración de que la orientación Norte permite que la radiación solar atraviese la

GRÁFICA 14.

Temperatura interior vs. Humedad relativa interior, según peso de la opinión positiva respecto de confort térmico para las 117 aulas auditadas.



(Cuadro rayado = Confort según Givoni)

ventana y produzca calentamiento del aire o aumente la temperatura de los paramentos exteriores del edificio. En este estudio no se advierte correlación entre orientación del aula y temperatura interna. Esto implica que, en los diseños estudiados, la temperatura interior tiene mayor relación con el clima exterior que con la orientación de aventanamientos o superficies expuestas.

Para períodos estacionales cálidos, se deben sombrar las superficies de aventanamientos, así como la propia superficie de los muros expuestos. En climas templados y cálidos, se debe contar con estudios específicos en cuanto a determinar tipo, dimensiones y calidad de las protecciones solares. Existen diferentes métodos analógicos o matemáticos para

simular este tipo de desarrollos, teniendo en cuenta la trayectoria solar y el tipo de cielo<sup>12</sup> bajo diferentes circunstancias de localización geográfica, estacional y diaria<sup>13</sup>.

Debido a la diversidad de las situaciones regionales, en función de su clima, estacionalidad y pautas bioclimáticas (estimadas en base a la temperatura

12. CIE (International Commission on Illumination). CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers). IESNA, the Illuminating Engineering Society of North America.

13. Hoses, S.; G. San Juan, M. Melchiori, G. Viegas. "Estrategias de control solar en aulas escolares y análisis de su incidencia en la iluminación natural interior mediante la utilización de modelos analógicos a escala". *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, de ASADES. Vol. 5. Art149-05 pdf, págs. 25-30. ISSN 0329-5184. 2001.

y humedad relativa promedio anual), la muestra se divide en dos grupos:

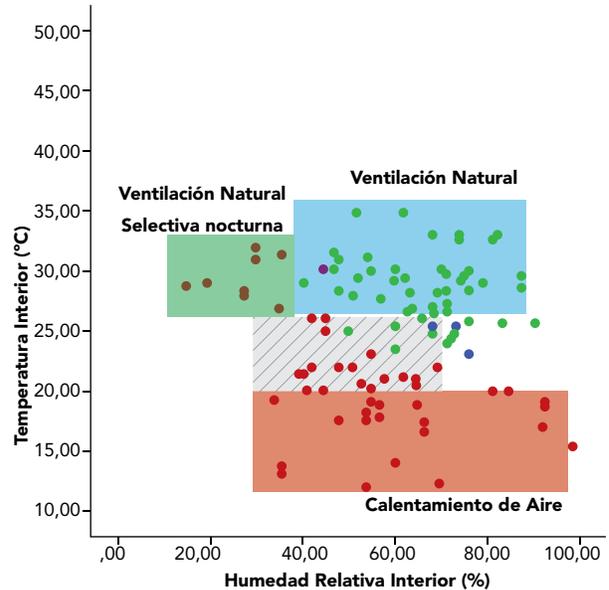
Aquellos casos de localización regional que requieren calentar el aire interior (pauta bioclimática 7: Calefacción Solar Pasiva), tales como ocurre en AR (Salta, Tucumán, Mendoza, Tandil, Bariloche); MX (DF, Juárez); CL (Iquique, Tarapacá, Peñalolén, Peñaflo, Punta Arenas); CO (Ipiales, Soacha). Para este grupo, en función del período estacional, algunas aulas se encuentran por debajo del RCL higrotérmico adoptado y otras por encima, lo que resalta la importancia de la variación anual y los requerimientos de acondicionamiento ambiental.

Aquellos que requieren refrescar el aire (pauta bioclimática 3: ventilación Natural), tales como, AR (Salta, Tucumán, Mendoza, Resistencia); MX (Campeche, Juárez, DF, Comalcalco, Potosí); CL (Tarapacá, Iquique, Peñalolén, Peñaflo); CO (Yopal, Barranquilla, Manaure, Quibdó, Ipiales, Ibagué, Pereira); RD (Alta Gracia, Bayaguana, Bonao, Los Alcarrizos, Monte Plata, Baní, Azua, Brisas del Este, La Caleta); CR (Bebedero, Parrita, Luzon, El Carmen, Poasito, Panamá). Este grupo, prácticamente en su totalidad, requiere ventilación natural o ventilación natural y selectiva nocturna (pauta bioclimática 4), en función de su amplitud térmica.

En la Gráfica 15, se observa la situación higrotérmica registrada en cada aula. Los puntos de color indican la pauta bioclimática anual predominante (azul = confort, verde = necesidad de ventilación, rojo = necesidad de calentamiento de aire). El área sombreada es la zona de confort de Givoni. Se visualiza un sector de las localizaciones que requiere en el período anual, calentamiento del aire fundamentalmente en el período invernal (sombreado rojo), y otro que requiere refrescamiento en el período estival (sombreado celeste). Existen algunas situaciones (sombreado verde) en las que los registros no coinciden con la pauta bioclimática anual más representativa de la localización, requiriendo excepcionalmente ventilación selectiva nocturna en el período auditado.

GRÁFICA 15.

Temperatura interior vs. humedad relativa interior (117 aulas)



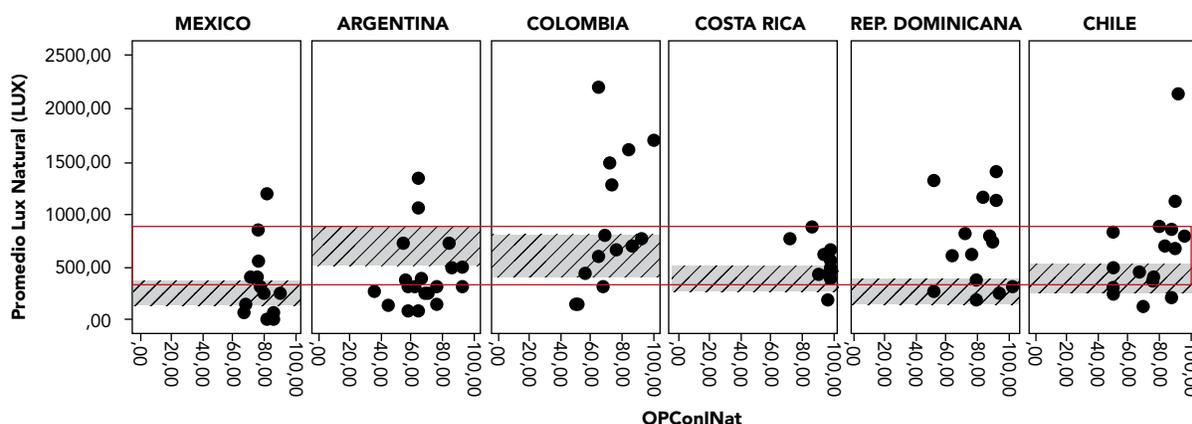
Esto implica la necesidad de adoptar una posición responsable y estrictamente profesional sobre si los desfases higrotérmicos se resuelven por medio de sistemas de acondicionamiento tradicional, tales como equipos de aire acondicionado o ventiladores (sistemas energo-intensivos), o se recurre a mejorar las condiciones ambientales a partir de contemplar criterios bioclimáticos aplicados sobre el propio edificio, así como sobre su contexto circundante.

Se entiende que la condición de confort lumínico es uno de los principales aspectos por tener en cuenta en un aula escolar, ya que el ambiente resultante incide en forma directa en la ocurrencia de problemas fisiológicos, conductuales, falta de atención, impedimento de una visión clara, lo que redundaría en la disminución de la capacidad de comprensión del mensaje. La solución puede ser optimizada a partir del accionamiento de la iluminación artificial o en forma alternativa por un diseño edilicio adaptado al medio ambiente y al clima que lo condiciona.

En cuanto a las iluminancias (lux) registradas dentro del aula, se observa en general niveles por debajo

GRÁFICA 16.

Iluminancia natural promedio vs. opinión positiva de confort lumínico (117 aulas)



Cuadro rayado = RCL.

Cuadro rojo = RC según normas internacionales.

Área amarilla = promedio mayor de opinión positiva.

de los rangos admisibles de confort local (RCL) y de los internacionales. La muestra expone que, en la mayoría de los casos, el valor de iluminancia mínima registrado (por debajo de los 300 lux) es crítico, fundamentalmente con base en las diferencias lumínicas entre los sectores cercanos a los aventanamientos y los más alejados de ellos. En otros casos, se registran valores máximos superiores a los rangos normativos.

La disparidad de la relación entre iluminancia exterior e interior pone en evidencia la aleatoriedad del diseño de las fuentes de luz natural en las aulas estudiadas, donde el edificio en general no responde correctamente a mitigar o controlar dichas condicionantes. En MX y AR, en la mayoría de los casos, se registran valores por debajo del valor mínimo admisible; en CO, CR y RD, valores promedio en confort y algunos casos con máximas por encima de los valores recomendados; en CL, valores promedio bajos y en confort, dentro del RCL adoptado.

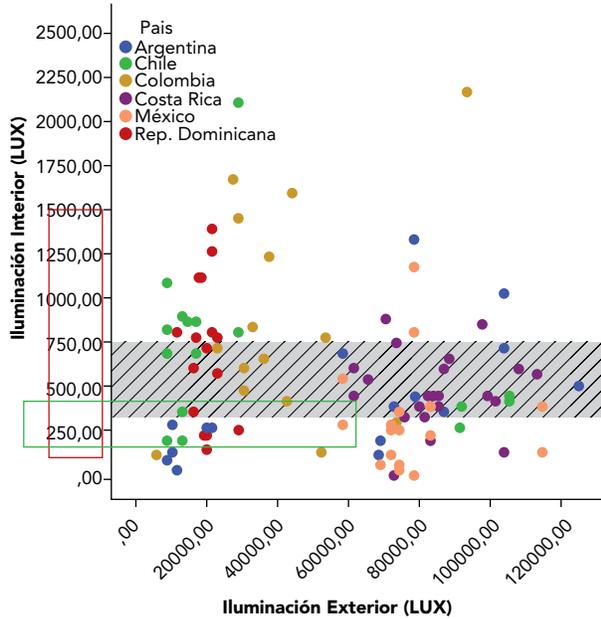
En la Gráfica 16, se observa la relación entre la opinión positiva de los alumnos encuestados (abscisas de 0 % a 100%) y el promedio de iluminancia natural (ordenadas), registrándose una tendencia de opinión

favorable (confort) cuando los registros se encuentran dentro o cerca del RCL adoptado. Esto implica que los alumnos reconocen perfectamente cuando la luz sobre su mesa de trabajo les proporciona un estado de bienestar. Esta respuesta de los estudiantes debe persuadir a los diseñadores de infraestructura escolar a tener muy en cuenta esta variable.

Por ejemplo para MX, CO y CR, el porcentaje de los alumnos que está en confort se concentra entre el 60% y 100%. Con mayor dispersión, RD y CL entre el 50% y 100%. En AR, se registra una valoración positiva entre el 30% y 90%, con niveles lumínicos por debajo del rango normativo (Gráfica 16).

En la totalidad de los países, el valor de iluminancia mínima adoptado (por debajo de los 300 lux) es crítico, fundamentalmente en los sectores más alejados de los aventanamientos. Por ejemplo en MX y CR, se han registrado valores menores a 100 lux, con la necesidad de incorporar iluminación artificial. Por el contrario, para el caso de CO y CL, se registran valores por encima del rango normativo (750 lux), en el orden de los 1500 lux.

**GRÁFICA 17.**  
Iluminancia natural interior promedio vs. iluminancia exterior (117 aulas)

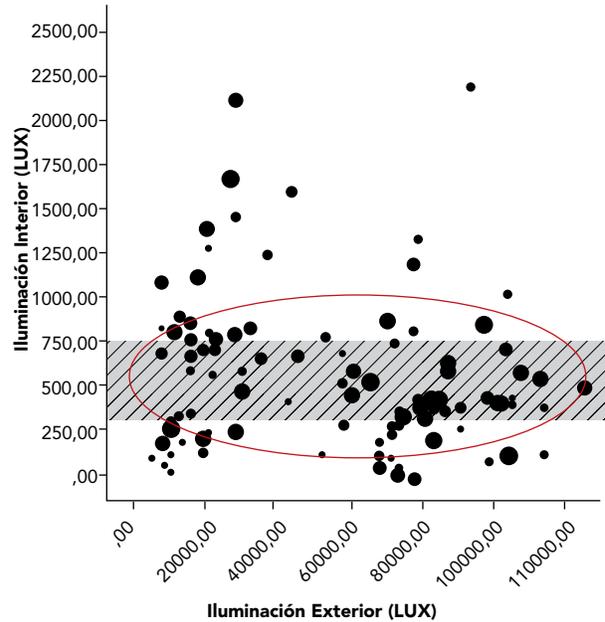


Existe disparidad de la respuesta lumínica en relación al diseño de las fuentes de luz natural. En la Gráfica 17 se observa que en el caso de RD (puntos rojos), es sustantiva la disparidad para los casos analizados, ya que con una misma iluminancia media exterior de 20.000 lux se registran niveles interiores de 150 a 1.400 lux. O el caso de CL (puntos verdes), que a iluminancias exteriores diferentes, entre 20.000 y 110.000 lux, se registran niveles interiores similares del orden de los 350 lux (Gráfica 18). La opinión positiva de los estudiantes se localiza dentro o cerca de la zona de confort establecida.

Los niveles de iluminancia interior registrados deben ser contrastados con los rangos de confort local (RCL), ya que dependen del grado de acostumbramiento de los usuarios al tipo de cielo de su región.

Se entiende que el confort acústico es un factor relevante para tener en cuenta, debido a la importancia en el impacto fisiológico y en la comprensión de la comunicación y el mensaje audible, tema central en un espacio destinado a la formación y educación. Este

**GRÁFICA 18.**  
Iluminancia natural interior promedio vs. iluminancia exterior, incluyendo el peso de la opinión positiva de confort lumínico (117 aulas)



**OPConiNat**

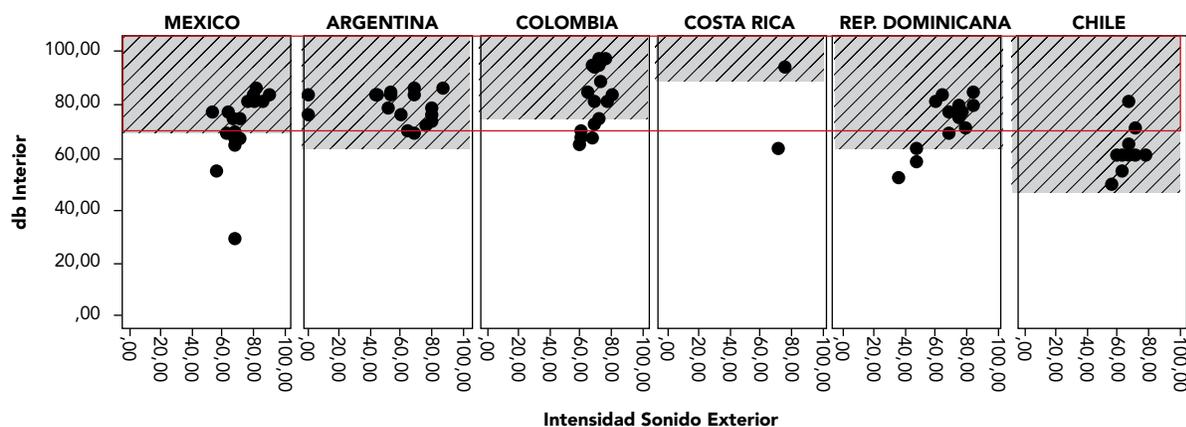
|   |        |
|---|--------|
| • | 76,00  |
| • | 77,00  |
| • | 78,00  |
| • | 79,00  |
| • | 82,00  |
| • | 83,00  |
| • | 84,00  |
| • | 85,00  |
| • | 86,00  |
| • | 87,00  |
| • | 88,00  |
| • | 89,00  |
| • | 90,00  |
| • | 92,00  |
| • | 93,00  |
| • | 94,00  |
| • | 95,00  |
| • | 96,00  |
| • | 97,00  |
| • | 98,00  |
| • | 99,00  |
| • | 100,00 |

puede ser optimizado a partir de un diseño específico en cuanto a la mitigación de los sonidos provenientes del exterior, así como los generados en el propio espacio educativo.

En la Gráfica 19 se muestran los registros instantáneos de las aulas auditadas. Se puede observar que, en la mayoría de los casos, la intensidad de sonido se sitúa por encima del RCL máximo admisible. Esto implica la necesidad de atenuar el ruido aéreo exterior incorporando barreras acústicas o implementando

GRÁFICA 19.

Intensidad de sonido interior (db) vs. intensidad de sonido exterior (db) (117 aulas)



Area rayada= RCL; Cuadro rojo= Límite no aconsejado según norma internacional.

adecuadas soluciones en la envolvente edilicia, fundamentalmente en los aventanamientos. Además, es evidente la necesidad del tratamiento del campo acústico interior.

La Gráfica 20 muestra que la mayor densidad de alumnos que expresan estar en confort se sitúa en el cuadrante que queda definido ente 62 a 85 db de intensidad de sonido interior y entre 50 a 85 db de intensidad de sonido exterior. Prácticamente, todos los casos señalados se encuentran fuera del área de confort, lo que un cierto grado de acostumbramiento a esta situación. Dado que el nivel acústico se muestra como una variable crítica, es aconsejable la continuidad de estudios específicos que aborden el tema, así como la implementación de acciones tecnológicas tanto en edificios nuevos como en los existentes.

En cuanto a la calidad del aire, la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un factor importante a tener en cuenta, debido al impacto sobre la salud, por acceso desde el exterior o por la propia emisión de sus ocupantes. El  $\text{CO}_2$  en altas concentraciones es tóxico para los seres humanos: a partir de 0,1% (1.000 ppm), el  $\text{CO}_2$  se convierte en uno de los factores de asma o del síndrome de los edificios enfermos. Esta concentración es el máximo permitido para el diseño

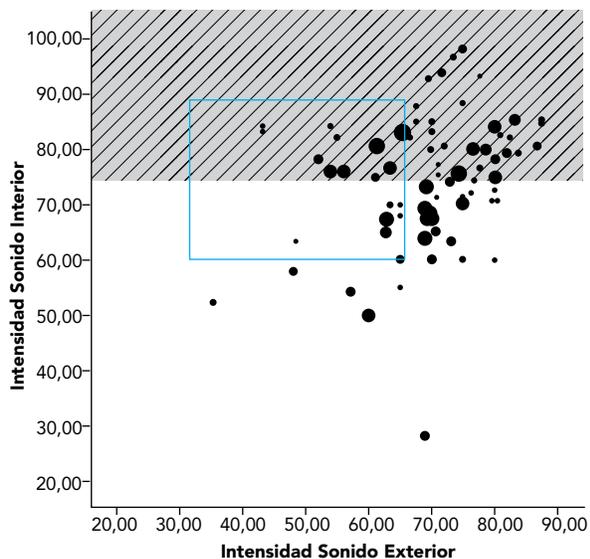
de edificios (o sistemas de aire acondicionado, en el interior de espacios habitables).

El estudio expone que el 20% de la muestra registra niveles de concentración máximos por encima del límite admisible permitido, coincidiendo con establecimientos localizados en climas fríos, donde los aventanamientos se mantienen cerrados, lo que impide la infiltración de aire y la renovación de aire necesaria. En el 80% restante, se registra por debajo de la normativa internacional adoptada (ASHRAE. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers), la cual fija como límite máximo 1.000 ppm, aunque según RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios de España, 2007, en función de la Normativa de la Comunidad Económica Europea) debería ser no más de 500 ppm por sobre la concentración exterior (Gráfica 21).

Los países más afectados son AR (Tandil, Tucumán, Bariloche) y CL (Iquique, Peñaflo, Peñalolén, Tarpacá, Punta Arenas), y en menor medida, CO (Barranquilla, Soacha), con 522 alumnos involucrados (18% de la muestra). La solución para este tipo de casos es la incorporación de sistemas de ventilación natural o automatizado, para eliminar el aire viciado y la concentración de contaminantes atmosféricos, tales

GRÁFICA 20.

Intensidad de sonido interior (db) vs. intensidad de sonido exterior (db) (117 aulas). Con peso de la opinión positiva



**OPConSon**

|   |       |   |        |
|---|-------|---|--------|
| • | ,00   | ● | 25,00  |
| • | 2,00  | ● | 27,00  |
| • | 3,00  | ● | 28,00  |
| • | 5,00  | ● | 31,00  |
| • | 6,00  | ● | 33,00  |
| • | 7,00  | ● | 34,00  |
| • | 8,00  | ● | 35,00  |
| • | 9,00  | ● | 38,00  |
| • | 10,00 | ● | 39,00  |
| • | 11,00 | ● | 41,00  |
| • | 13,00 | ● | 42,00  |
| • | 14,00 | ● | 48,00  |
| • | 15,00 | ● | 52,00  |
| • | 16,00 | ● | 57,00  |
| • | 17,00 | ● | 58,00  |
| • | 18,00 | ● | 69,00  |
| • | 19,00 | ● | 70,00  |
| • | 20,00 | ● | 80,00  |
| • | 21,00 | ● | 86,00  |
| • | 22,00 | ● | 88,00  |
| • | 23,00 | ● | 100,00 |
| • | 24,00 | ● |        |

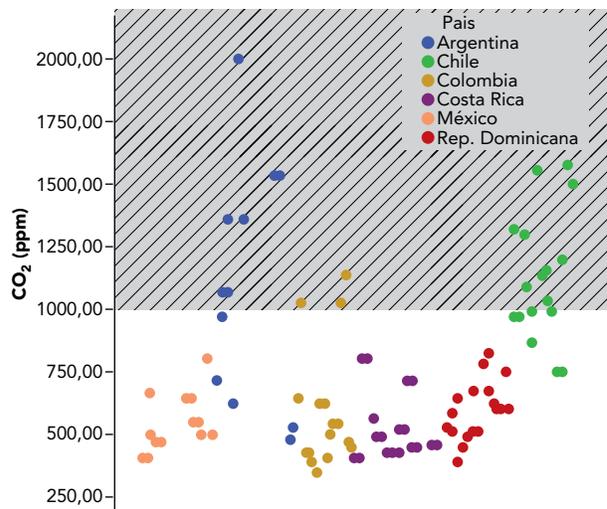
Area rayada= Límite no aconsejado según norma. Cuadro celeste= concentración de la opinión positiva

como el tratado. Los demás países, MX, CR, RD, se encuentran por debajo del límite establecido.

La valoración del técnico auditor (Scoring) expresa una opinión general sobre de la totalidad de las variables analizadas. Se observa que al 2% de la muestra se le asigna un valor favorable; al 78%, normal; y al 20% restante, desfavorable. Esto implica que la opinión experta estima una valoración positiva, mientras el análisis realizado verifica anomalías en relación a los RCL establecidos. Quizás esta información revele

GRÁFICA 21.

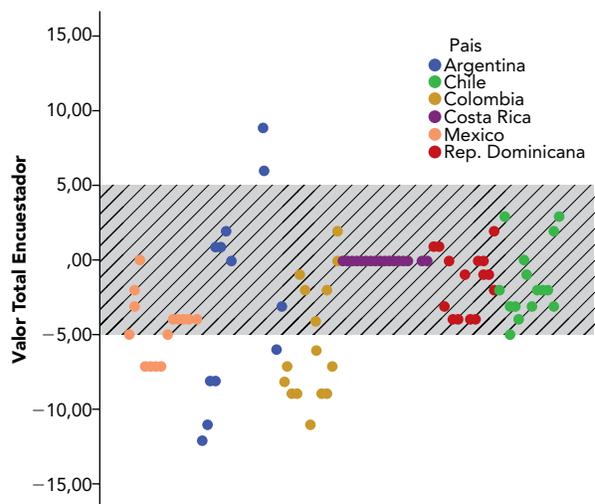
Nivel de CO<sub>2</sub> registrados en las aulas analizadas. 100 aulas



Area rayada= Límite no aconsejado según norma.

GRÁFICA 22.

Valoración general del técnico auditor



Valor entre 5 y -5 = normal; mayor que 5 = favorable; menor que 5 = desfavorable.

falta de concientización sobre el problema o que valoraciones subjetivas por parte del técnico enmascaren la situación ambiental auditada que de manera consciente e inconsciente, es manifestada por los propios alumnos (Gráfica 22).



GRÁFICA 24.  
 Mapa de confort térmico. Barranquilla, Colombia

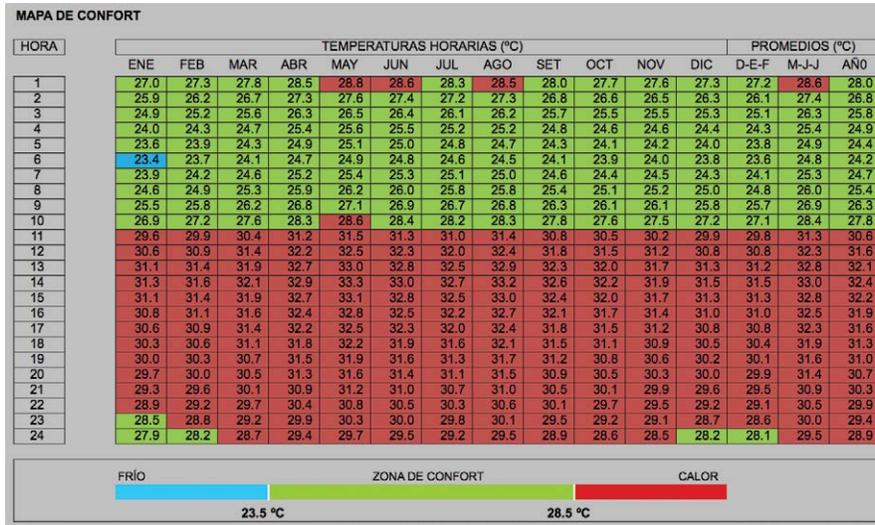


FIGURE 28.  
 Floor plan. Solar orientation.

los 24°C, con necesidad de refrescamiento, y en los equinoccios en confort. La Gráfica 24 expone el caso de Barranquilla, Colombia, donde se registra otra realidad. Durante el período matutino, las temperaturas se encuentran dentro del RCL establecido (23.5 a 28.5°C), mientras que a partir de las 11hs, las condiciones son críticas y se requiere el tratamiento del aire para disminuir su temperatura.

Continuando con el análisis de los mismos ejemplos, en función de visualizar la “Carta bioclimática de Givoni”, la cual integra temperatura y humedad relativa, se registra la situación exterior media anual (punto amarillo), la interior del aula (punto celeste= invierno y rojo= verano). Podemos, de esta manera, determinar la pauta bioclimática para cada estación. En el caso de Tucumán, Argentina, el aula en el invierno requiere calentamiento del aire para llevarlo a la zona de confort, ya sea por medios tradicionales o incorporando calefacción solar pasiva (SP). En verano, el aula requiere refrescar el aire a partir de ventilación natural o ventilación selectiva nocturna (Gráfica 25).

En el caso de Barranquilla, Colombia, el aula se encuentra en una situación crítica (33°C y 72% de HR), por lo cual requiere ventilación natural para llevar la condición interior a la zona de confort (Gráfica 26).

**Determinar las estrategias específicas.**

Partiendo de la definición de las pautas generales de diseño para edificios nuevos y aplicando técnicas de retrofit para edificios existentes:

**Orientación solar y de viento**

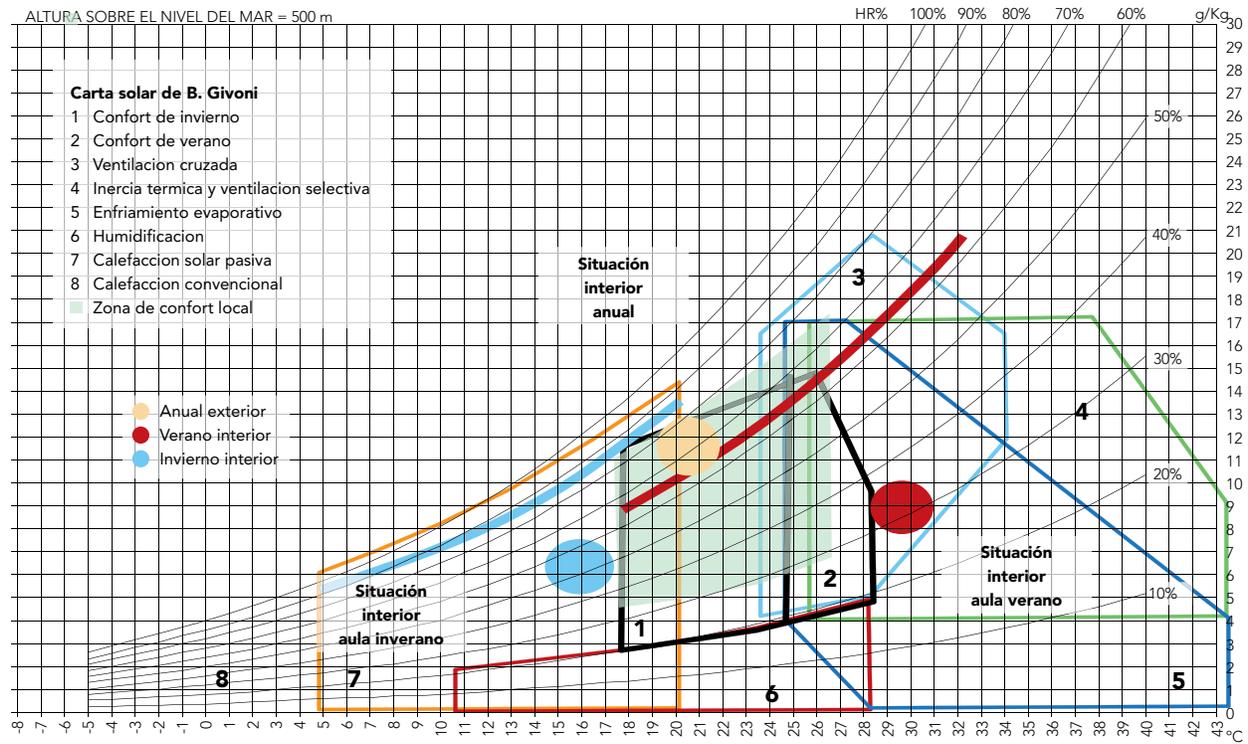
Tanto para situaciones en climas fríos como cálidos, es necesario tener en cuenta la orientación solar, con lo cual protegerse de la radiación directa o captarla y generar calor. Esto es posible adoptando la orientación plena al Norte o Sur, según sea el hemisferio, con una variación ± 15° hacia el Este o al Oeste. La perpendicularidad de las áreas de acceso de aire a la dirección de viento o brisas favorecerá su movimiento y la descarga térmica (Gráficas 27 a 29).

**Agrupamiento**

Los edificios escolares se construyen en una sola planta o en varias, lo que implica un agrupamiento en vertical por apilamiento, con exposiciones mayores al ambiente externo de los pisos superiores. Por otro lado, el agrupamiento en planta u horizontal depende de la rigurosidad del clima: (i) En condiciones ambientales frías, conviene adoptar un agrupamiento que aumente su compacidad (entendida como la relación entre el volumen encerrado y la suma de las superficies

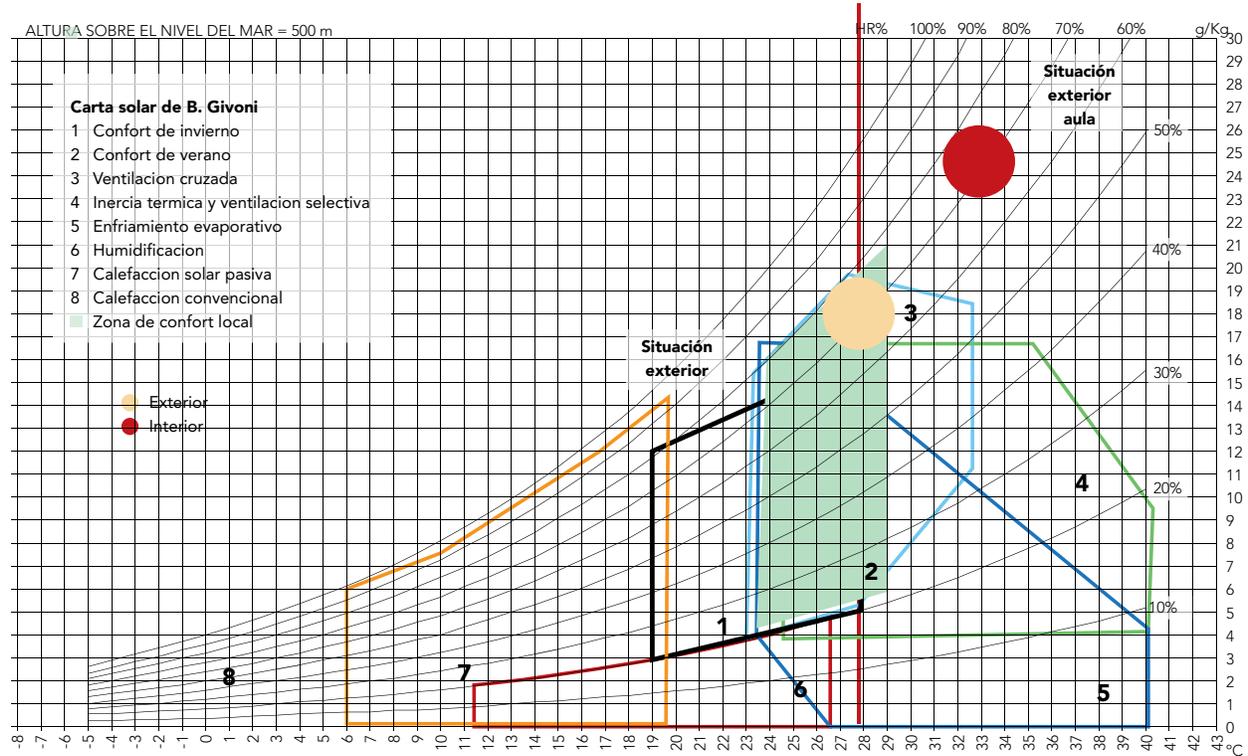
GRÁFICA 25.

Carta solar y pautas bioclimáticas Tucumán, Argentina



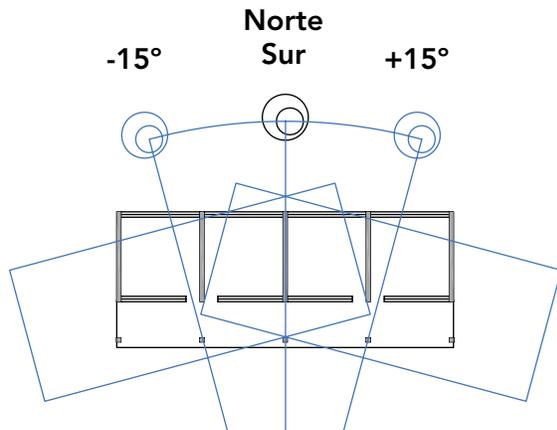
GRÁFICA 26.

Carta solar y pautas bioclimáticas. Barranquilla, Colombia



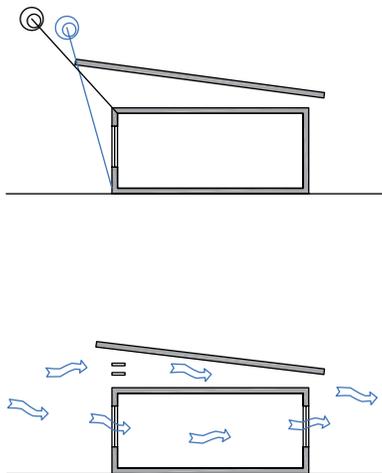
GRÁFICA 27.

Esquema en planta. Orientación solar.



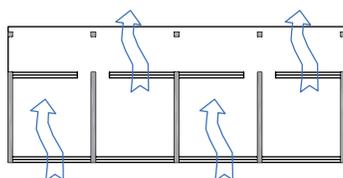
GRÁFICA 28.

Esquema en corte. Orientación solar.



GRÁFICA 29.

Esquema en planta. Orientación de viento o brisas



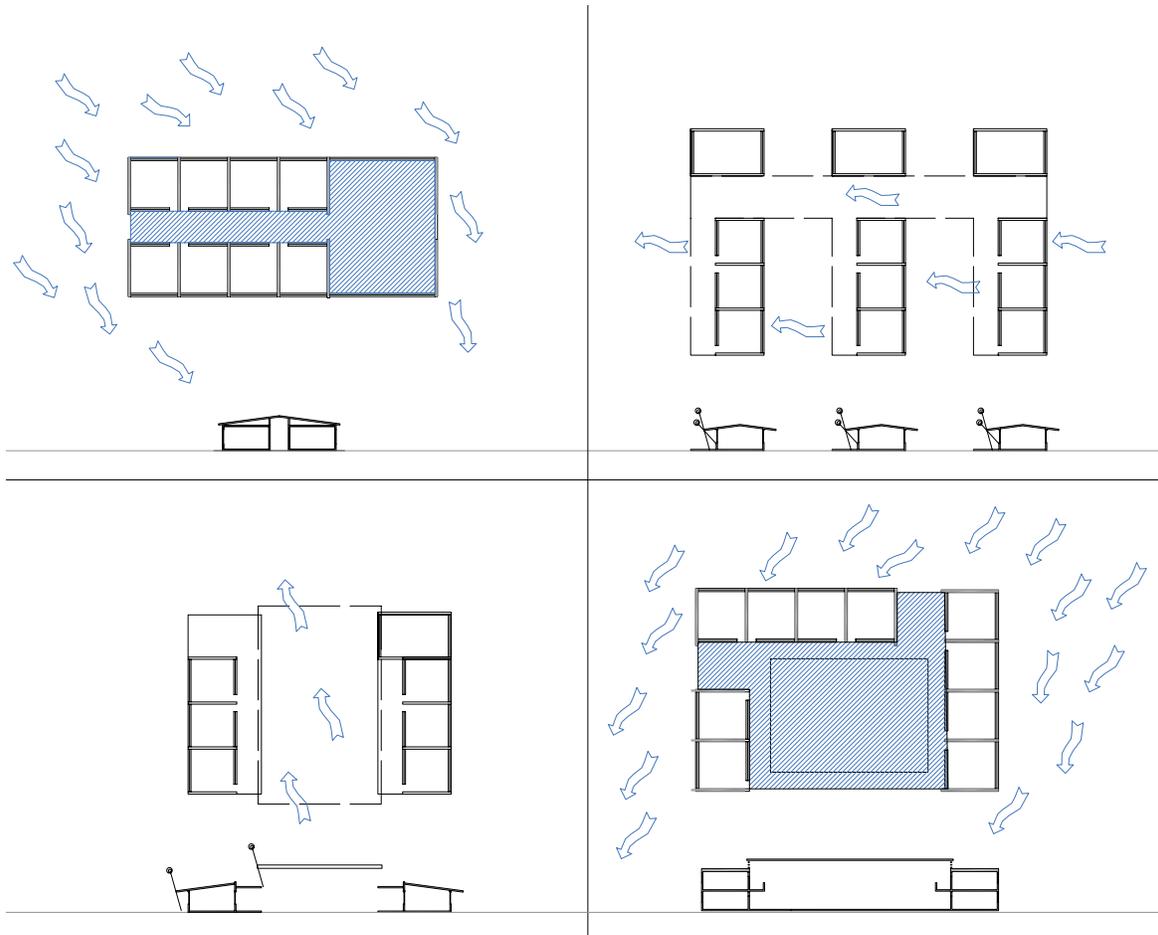
de la envolvente,  $c=V/S$ ), lo cual reduce las superficies expuestas. Se debe tener en cuenta que los espacios con mayor solcitación térmica, como las aulas, deberían priorizar la orientación que permita aprovechar la radiación solar, para generar calor. (ii) En climas cálidos, conviene un agrupamiento abierto que contemple espacios intersticiales entre pabellones, para permitir la ventilación cruzada (Gráfica 30). Estos deberían estar orientados con sus lados mayores perpendiculares a los vientos o brisas locales. En estas latitudes, la posición del sol implica que la mayor radiación solar incidirá sobre la cubierta, lo cual favorece la incorporación de sistemas de sombrero, como aleros o salientes horizontales, que pueden minimizar la incidencia de la radiación sobre paramentos exteriores e impedir que acceda a los espacios habitables. Respecto de la orientación solar, se debería priorizar la ubicación de las galerías hacia las zonas de mayor radiación solar, con lo cual reducir la exposición de los aventanamientos. En las Gráficas 31 a 33, se observan a modo ejemplo respuestas de los edificios estudiados, en relación a la compacidad en planta u horizontal.

#### Aislación térmica de la envolvente edilicia

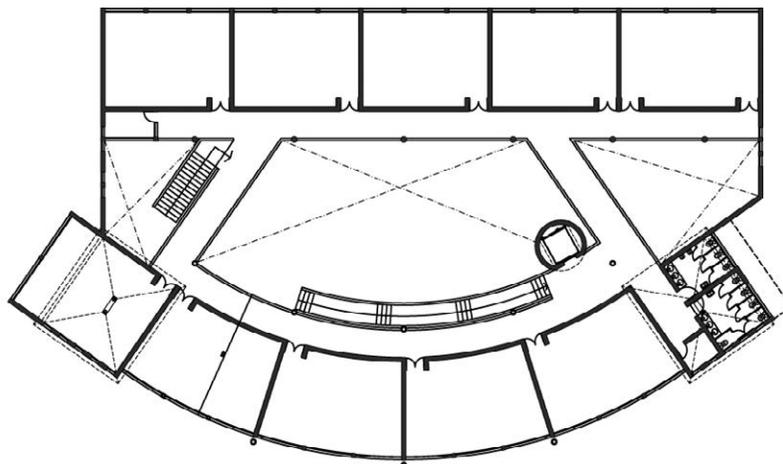
En todos los casos, se debe incorporar aislación térmica de la envolvente. En zonas cálidas, se debe aplicar fundamentalmente en las cubiertas y cielorrasos, por ser el componente donde la incidencia solar es mayor. En climas fríos, en la totalidad de la envolvente (cubiertas, muros y pisos). Inclusive es conveniente la colocación en las ventanas de carpinterías de calidad térmica asegurada que minimicen la infiltración de aire, reduzcan los puentes térmicos<sup>14</sup> y que contengan doble vidrio evacuado (DVH). La disposición de la aislación (exterior, intermedia o interior) en el componente de la envolvente se entiende como una capa adicional, la cual debe ser estudiada en forma específica para cada situación climática, en cuanto a su espesor y tipo de material adoptado. El criterio

14. Un puente térmico es una zona de la envolvente edilicia en la que se transmite más fácilmente el calor que en las zonas aledañas, donde se suelen producir mayores pérdidas térmicas, condensación superficial e intersticial. Puede deberse por diferente conductividad de los materiales, diferente espesor de los materiales o a cuestiones geométricas.

GRÁFICA 30.  
Esquemas de agrupamiento

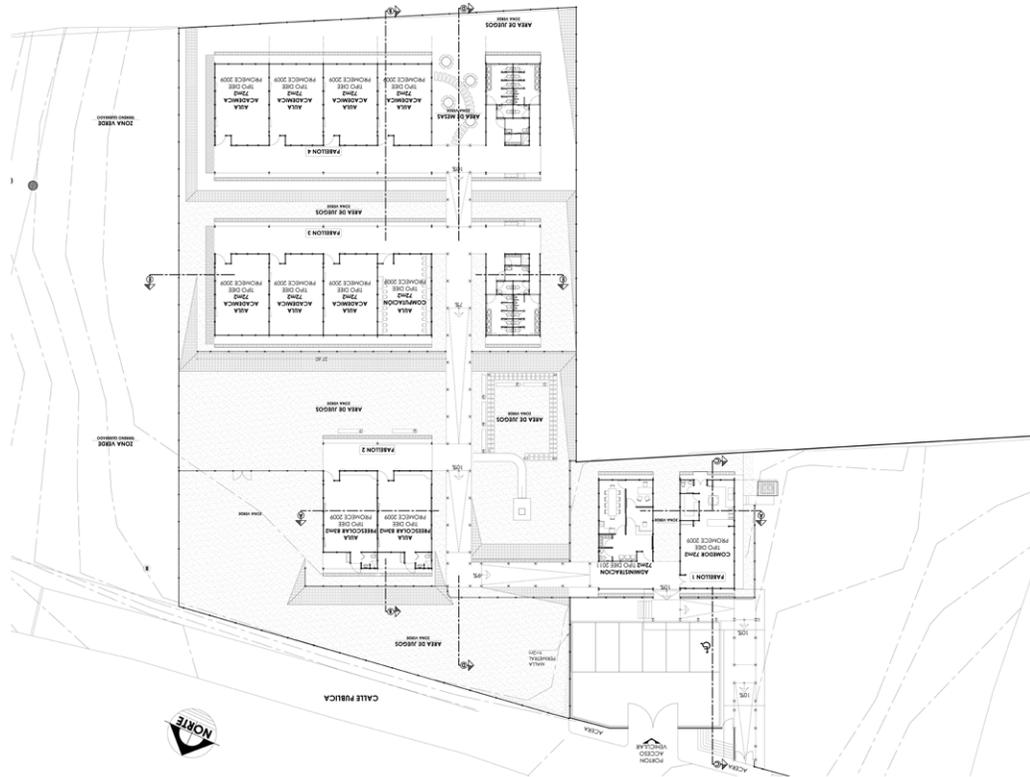


GRÁFICA 31.  
Puerto Arenas. Chile. Clima frío. (Agrupamiento compacto.)



GRÁFICA 32.

Luzón. Costa Rica. Clima cálido húmedo. (Agrupamiento abierto.)



que aquí se expone se denomina “conservación de la energía” (Gráficas 34 a 36).

### Inercia térmica

Debe ser considerada en dos aspectos según el clima: (i) En climas cálidos o templados secos, donde exista una importante amplitud térmica entre el día y la noche, se aconseja edificios “pesados”, o “máscos”. (ii) En climas húmedos, se aconseja adoptar edificios “livianos” con baja inercia térmica. Según la ocupación, se recomienda adoptar una envolvente “pesada”, con masa térmica, cuando la ocupación corresponde a un período diario extenso o continuo. Por el contrario, cuando la ocupación es discontinua

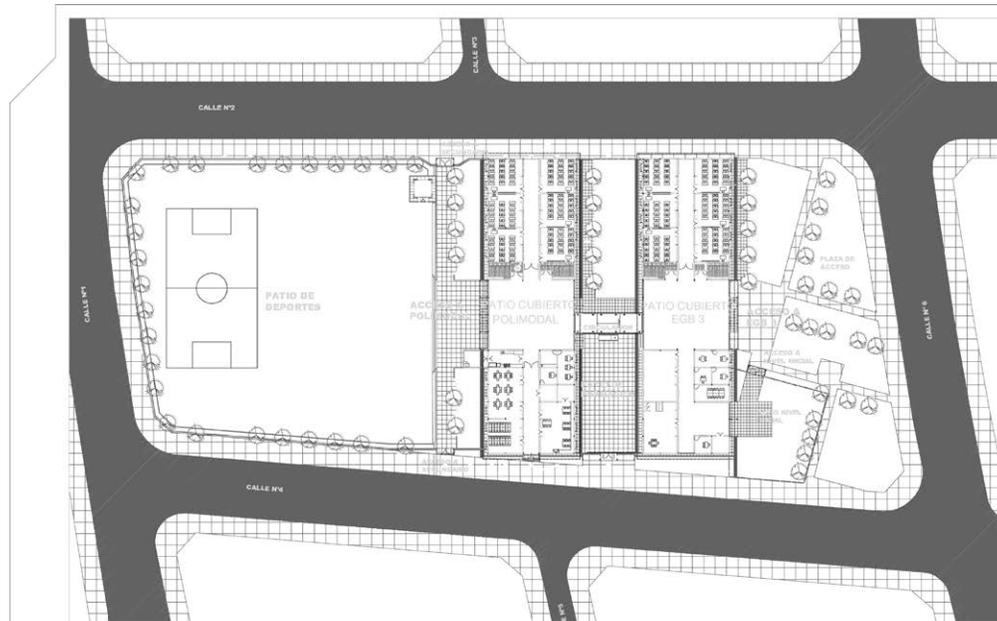
y en un período diario reducido se deberá considerar una envolvente “liviana”.

### Climatización

Tanto la calefacción como la refrigeración, pueden ser resueltas con equipamiento tradicional. Este se caracteriza por ser de uso corriente, de fácil instalación y mantenimiento, pero tienen como desventaja que son energointensivos y utilizan fuentes de energía no renovables y contaminantes (fundamentalmente los equipos de calefacción). Es necesario adoptar, en relación a las buenas prácticas y a la conceptualización de un diseño sustentable y eficiente, la incorporación de sistemas de acondicionamiento pasivos (SP), muros

GRÁFICA 33.

Tucumán, Argentina. Clima cálido. (Agrupamiento abierto.)



acumuladores de calor (MAC<sup>15</sup>), colectores de aire livianos (CA), ganancia por ventanas e invernaderos (Gráficas 37 y 38).

### Ventilación

En climas cálidos, se debe adoptar un diseño arquitectónico que permita la ventilación natural, aunque esta debe complementarse con el diseño de los espacios exteriores, con el fin de reducir la temperatura del aire entrante. Este tipo de ventilación puede ser resuelta, según la necesidad, a través de los espacios (ventanas) a la altura de los cuerpos de sus habitantes o como extracción de aire en los estratos superiores. Por otro lado, puede extraerse el calor de la propia masa edilicia, por cielorrasos y por techo de sombra. La ventilación selectiva nocturna aprovecha la capacidad entálpica del aire, descargando el calor

acumulado en la masa del edificio durante el día. La extracción de aire también puede realizarse por efecto stack<sup>16</sup>, que aprovecha la diferencia térmica para ventilar los locales (chimenea solar), o por extracción natural o forzada, eólica o solar (Gráficas 39 a 44).

### Control solar

Esta es una pauta de diseño imprescindible en climas cálidos y templados. Esta medida tiende a: (i) mitigar los efectos de la radiación solar sobre la envolvente del edificio, disminuyendo el sobrecalentamiento; (ii) evitar la incidencia directa en el interior a través de los aventanamientos; (iii) evitar reflejos molestos y deslumbramiento<sup>17,18</sup>. En la Gráfica 45, se exponen algu-

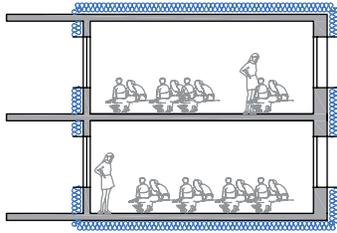
15. Un muro acumulador de calor (MAC) es una pared orientada al sol, al norte en el hemisferio sur y al sur en el hemisferio norte. Construida con materiales que acumulen calor bajo el efecto de masa térmica (tales como agua, piedra, hormigón, adobe), combinado con un espacio de aire, una lámina transparente (efecto invernadero) y ventilaciones. Patentado en 1881 por Edward Morse (US Patent 246626), pero difundido en los años 60 por Félix Trombe y Jacques Michel.

16. Efecto stack: desplazamiento natural del aire desde las zonas más frías a las más calurosas, aprovechando el efecto conectivo producido por la diferencia de densidad y temperatura del aire.

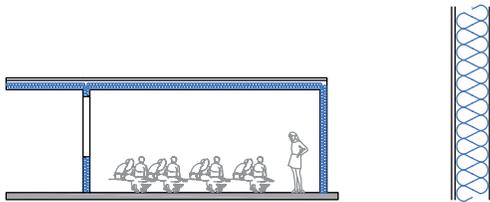
17. "Estrategias de control solar en aulas escolares y análisis de su incidencia en la iluminación natural interior mediante la utilización de modelos analógicos a escala". *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, de ASADES. Vol. 5, 2001. Art. 149-05 pdf, págs. 05.25-05.30. ISSN 0329-5184. S. Hoses, G. San Juan, M. Melchiorri, G. Viegas.

18. "Diseño Bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico". Publicación del Taller Vertical de Arquitectura N°2. San Juan, Santinelli, Varela. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata. 2013.

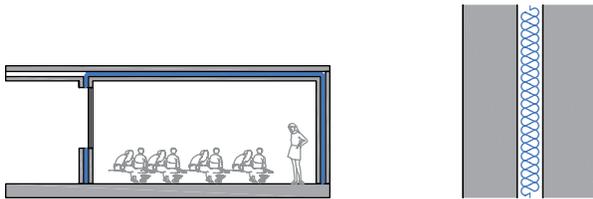
GRÁFICA 34.  
Aislación higrotérmica de la envolvente



GRÁFICA 35.  
Aislación térmica en muro "liviano",  
sin inercia térmica



GRÁFICA 36.  
Aislación térmica en muro "pesado", con  
inercia térmica.

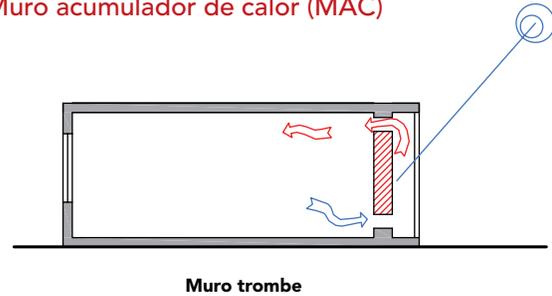


nas estrategias de protección solar en aulas escolares, analizadas a través de modelos a escala.

### Iluminación

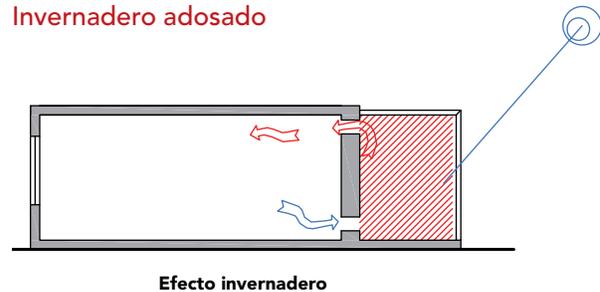
Esta es una de las pautas de diseño más importantes para tener en cuenta en el diseño de una escuela y fundamentalmente en el aula, con lo cual asegurar las condiciones lumínicas aceptables para la actividad, sin afectación fisiológica. Las decisiones proyectuales tienden a: (i) mantener niveles lumínicos aceptables en función de la normativa nacional e internacional que en general regula un CLD entre 2% y 5%; (ii) generar una diferencia aceptable entre la iluminancia

GRÁFICA 37.  
Muro acumulador de calor (MAC)



Muro trombe

GRÁFICA 38.  
Invernadero adosado

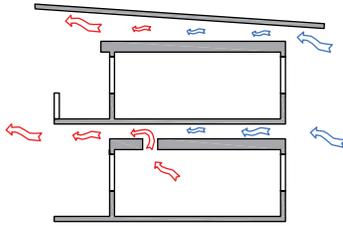


Efecto invernadero

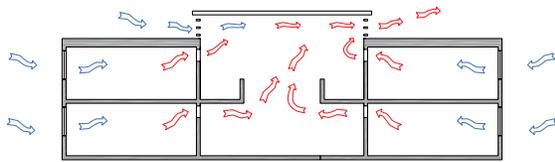
mínima y máxima interior (uniformidad); (iii) evitar reflejos molestos y deslumbramiento; y (iv) disminuir la utilización de equipos artificiales, sobre todo en fase solar.

En cuanto a iluminación natural, se deben adoptar las siguientes condiciones de diseño: (i) Dirección de la fuente de iluminación (unilateral, bilateral, cenital), según el "tipo de cielo" y la forma del aula (cuadrada o rectangular); (ii) procedencia de la iluminación en forma directa, indirecta, por reflexión o a través de espacios intermedios (áticos, circulaciones); (iii) coeficientes de reflexión ( $C_r$ ) de las superficies interiores, utilizando colores claros; (iv) el acceso directo de la radiación solar y la observación directa de la bóveda celeste (fundamentalmente en cielos diáfanos con gran luminancia) deben anularse mediante elementos arquitectónicos tales como tamices, difusores o dispositivos de control solar; (v) diseño del tamaño y ubicación de las aberturas; (vi) utilización de componentes alternativos como claraboyas, lumiductos, estantes de luz, para distribuir la iluminación en toda el área del aula. En cuanto a la iluminación artificial: (i)

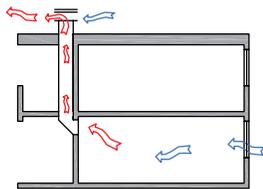
GRÁFICA 39.  
Ventilación por techos



GRÁFICA 40.  
Ventilación por atrio ventilado



GRÁFICA 41.  
Ventilación natural convectiva,  
asociada chimenea solar

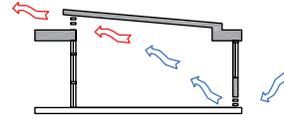


luminarias energéticamente eficientes, de larga vida útil y que reproduzcan correctamente las tonalidades de luz requeridas en cada recinto; (ii) sistemas de automatización en el encendido; y (iii) diferenciación de circuitos por zonas en función de sus iluminancias (Gráfica 46).

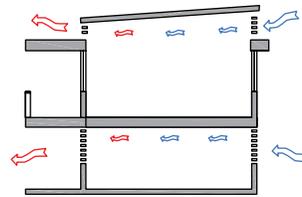
### Calidad del aire interior

Este es un factor que debe ser controlado, en función de mantener las condiciones estables y aconsejadas de calidad higrotérmica, de concentración de contaminantes (tales como  $\text{CO}_2$ ) y de olores desagradables. Se debe contemplar una ventilación selectiva, natural

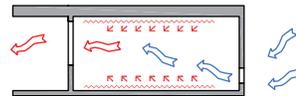
GRÁFICA 42.  
Ventilación cruzada superior por aberturas en caras opuestas



GRÁFICA 43.  
Ventilación natural ayudada por tiro térmico



GRÁFICA 44.  
Ventilación selectiva nocturna



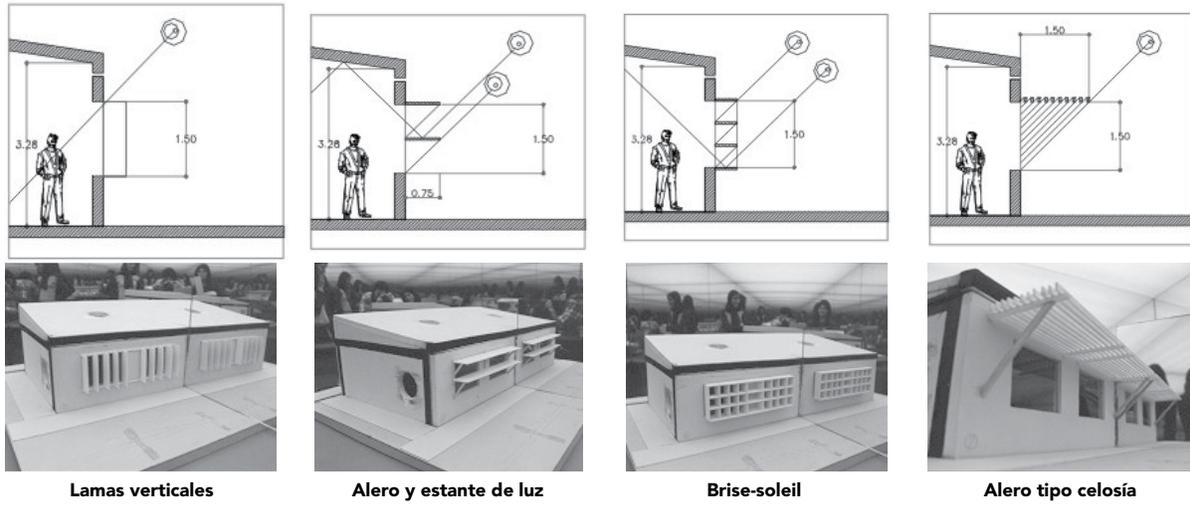
o automatizada, así como tener en cuenta las infiltraciones de aire.

### Acondicionamiento acústico

Se visualiza como una de las variables críticas proveniente del presente estudio, derivadas del tipo y fuente de emisión: (i) Externa, la cual puede ser minimizada por disposición de los locales más vulnerables alejados de la fuente sonora, por interposición de barreras externas o en la propia envolvente del edificio. (ii) Internas, provocadas por el propio uso del aula, donde debe lograrse una mejora del campo acústico con lo cual reducir el tiempo de reverberación

GRÁFICA 45.

Estrategias de protección solar en aulas (Autor, San Juan, Hoses)



Lamas verticales

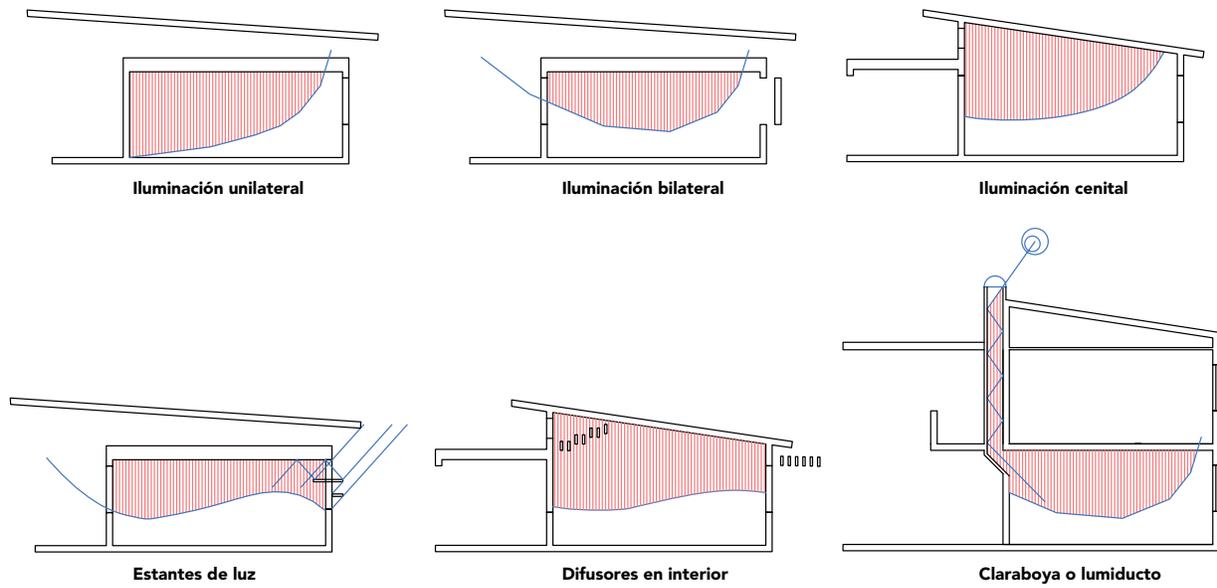
Alero y estante de luz

Brise-soleil

Alero tipo celosía

GRÁFICA 46.

Sistemas de iluminación natural



Iluminación unilateral

Iluminación bilateral

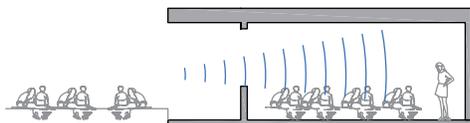
Iluminación cenital

Estantes de luz

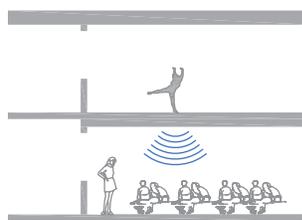
Difusores en interior

Claraboya o lumiducto

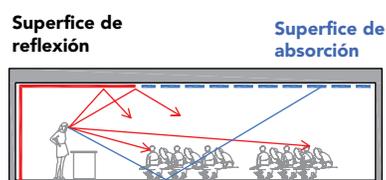
GRÁFICA 47.  
Aislación acústica al ruido aéreo



GRÁFICA 48.  
Aislación acústica al ruido producido por impacto



GRÁFICA 49.  
Tratamiento acústico de superficies interiores



incorporando materiales absorbentes o variando la forma del propio espacio. (iii) Tratamiento de sonidos desagradables, como timbres o campanas, que afectan la capacidad auditiva y generan molestias psicofisiológicas (Gráficas 47 a 49).

## Análisis de los establecimientos auditados, según localización regional

A continuación, se exponen una serie de conclusiones y recomendaciones generales para cada establecimiento educativo, en función de las auditorías realizadas en sus aulas en distintos países y situaciones climáticas.

Las diferentes localizaciones representan un variado espectro de condiciones climáticas, que pueden ser clasificadas para su análisis comparativo en tres climas básicos:

- (1) Cálido (tropical, húmedo o seco).
- (2) Templado (cálido y frío).
- (3) Frío (muy frío).

Estos climas determinan pautas de diseño genéricas, que en cada caso deben ser adecuadas en función de la altura sobre el nivel del mar, su influencia marítima o continental, así como sus condiciones microclimáticas. A partir de los registros obtenidos en cada aula, en diferentes períodos del año y sus condiciones climáticas, se ha estudiado qué se necesita para mejorar sus condiciones ambientales. Las necesidades de la muestra han sido clasificadas desde el aspecto higrotérmico, en: (i) Calentamiento del aire e incorporación de aislación térmica y (ii) Sombreo y ventilación natural. Su reconocimiento y adopción sienta las bases para la determinación de estrategias proyectuales y de implementación tecnológica.

## ARGENTINA (AR)

Las localizaciones estudiadas en invierno y verano corresponden a:

### Clima cálido húmedo

- Escuela Martín Miguel de Güemes, N° 698. Ciudad de Resistencia. Provincia del Chaco.
- Escuela Lomas de Tafí. Ciudad de Tucumán. Tafí Viejo. Provincia de Tucumán.

### Clima templado seco

- Escuela Primaria Roque Chieli, N°4731. Ciudad de Salta. Provincia de Salta.

### Clima templado frío

- Escuela Escultor Roberto Rosas, N° 1745. Ciudad de Mendoza, Guaymallén. Provincia de Mendoza.
- Escuela Elisa Solari de Levy Nicolás, N°14. Ciudad de Tandil. Provincia de Buenos Aires.

### Clima muy frío

- Escuela N°367. Ciudad de San Carlos de Bariloche. Provincia de Río Negro.

### Clima cálido húmedo con necesidad de sombreado + ventilación + calefacción (Resistencia, Tucumán)

Las condiciones de la ciudad de Resistencia, a una altura sobre nivel del mar de 52m, corresponden a un clima cálido húmedo, con necesidades de refrescamiento del aire. La temperatura media mínima de invierno es de 11.7°C y la máxima media de verano es de 31.2°C. Vientos moderados del sector Noreste y Este. La rigurosidad del clima es determinante para que el edificio, en cuanto a su organización y envolvente edilicia, se adecúe a la necesidad de sombreado y ventilación cruzada, así como el tratamiento vegetal de su entorno. Edificio conformado por pabellones aislados, con patios intersticiales y circulaciones semi-cubiertas, orientadas al Sur. Tecnología tradicional.

Se trata de una escuela suburbana, localizada en la ciudad capital, a 481 m SNM, donde las temperaturas medias máximas en verano son de 30.9°C y las medias

mínimas en invierno de 6.7°C, con humedad relativa media anual alta (73.7%) y 386 grados día (GD18) de calefacción anual. Vientos moderados predominantes del cuadrante Sur-Sudoeste en invierno y sudoeste en verano. Tipología de batería de aulas en una sola planta con techo a dos aguas, con corredor y patio de juegos abiertos. Con organización abierta, patios intersticiales y construcción tradicional semipesada. Aulas con aventanamiento lateral pequeño, incluyendo componente de protección solar.

### Resistencia

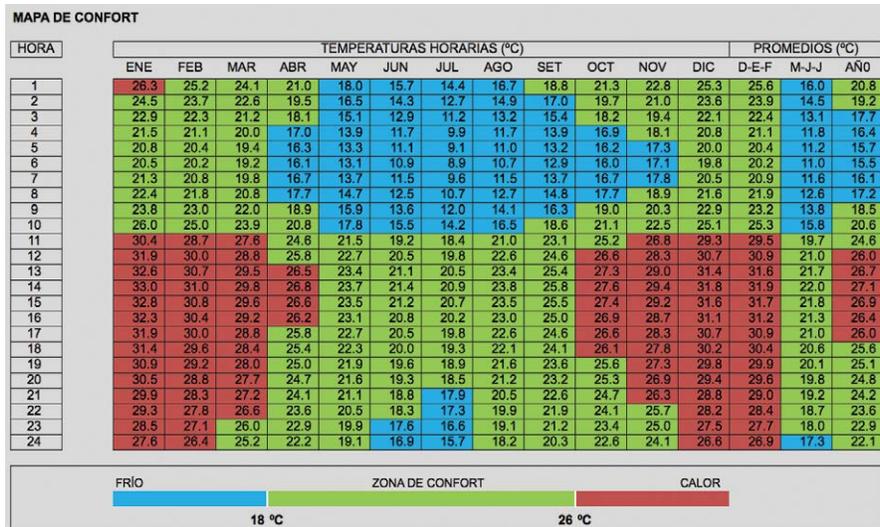
Las situaciones higrotérmicas de las aulas auditadas se encuentran en verano muy fuera de las condiciones de confort. Consecuentemente, los alumnos usan ropa liviana (76% a 100%) y manifiestan estar en confort (68% a 87%), pero en su mayoría opinan que el aire está viciado (94% a 100%). Esto implica un grado de tolerancia a las condiciones ambientales extremas, fundamentalmente en el período estival. El agrupamiento es correcto permitiendo la ventilación natural, aunque se debería incorporar aislamiento térmico en muros y fundamentalmente en cubierta, componente de mayor sollicitación a la radiación solar. La descarga térmica nocturna puede ser otra estrategia para permitir el acceso de las brisas. Se deben acondicionar los espacios exteriores para sombrear el terreno circundante e incorporar vegetación. En este caso, la necesidad de calefacción solo se produce en algunos pocos días críticos.

### Tucumán

Las condiciones higrotérmicas de las aulas estudiadas se encuentran fuera de confort térmico, tanto en el período invernal, como en estival. De todos modos, los alumnos manifiestan estar en confort en invierno (56% a 68%) y en verano (54% a 81%). Se visten con ropa abrigada (57% a 75%), pero manifiestan que transpiran (56% y el 31%), en ambos períodos. La ventilación es insuficiente, ya que no permite eliminar el calor generado por diversas fuentes, algo que se evidencia en la opinión de los alumnos que dicen que el aire está viciado (73% a 79%). En el caso del

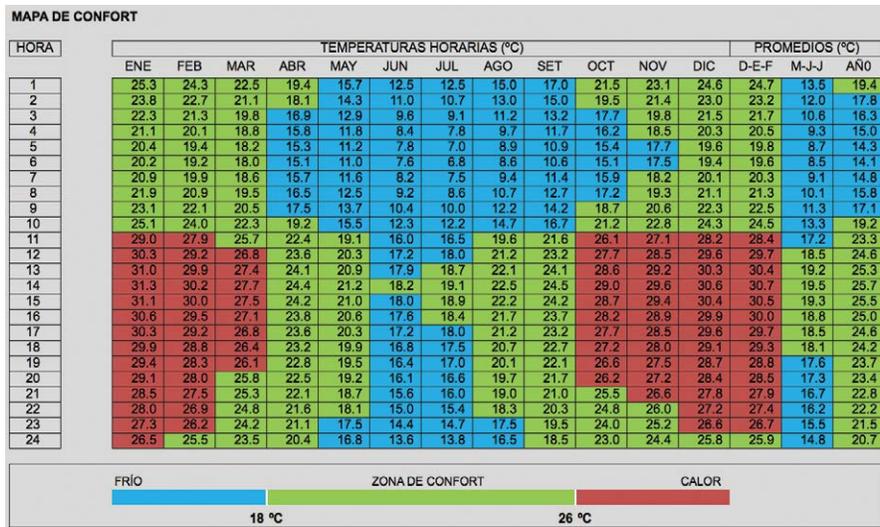
GRÁFICA 50.

Escuela Martín Miguel de Güemes, N° 698. Ciudad de Resistencia. Clima cálido húmedo



GRÁFICA 51.

Escuela Lomas de Tafí. Ciudad de Tucumán. Clima cálido templado

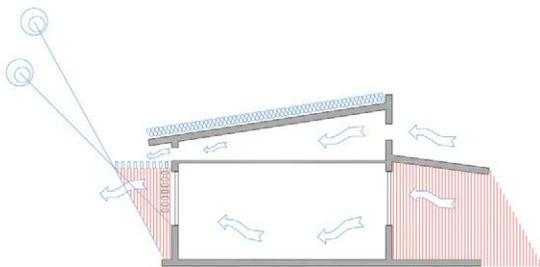


agrupamiento de aulas, si bien el edificio analizado está correctamente resuelto, al favorecer la ventilación cruzada, se debería mejorar la aislación térmica del “techo de sombra”. Es necesario proponer estrategias de ventilación cruzada y/o ventilación selectiva aprovechando las brisas nocturnas, con lo

cuál eliminar la temperatura acumulada por la masa térmica durante el día, o ventilación por efecto stack, que permita alejar las boca de evacuación de aire de las zonas ocupadas por los alumnos, para intentar reducir de este modo la entrada de sonido desde galerías y patios.

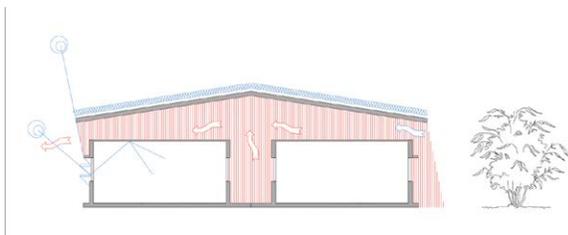
GRÁFICA 52.

**Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de cubierta. Resistencia**



GRÁFICA 53.

**Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de cubierta. Tucumán**



La presencia de cielos nubosos, sumado al tamaño pequeño de los aventanamientos, parecería justificar las condiciones lumínicas de las aulas que prácticamente no cumplen con los parámetros de diseño recomendados, aunque la valoración de los alumnos es positiva (53% a 92 %), lo cual evidencia un cierto grado de acostumbramiento a estas situaciones. Las deficiencias observadas son: niveles de iluminancia bajos, y mínimos en los sectores más alejados del aventanamiento principal, bajos coeficientes de uniformidad e incidencia de radiación solar directa sobre plano de trabajo. Se requiere un diseño específico de las fachadas de las aulas que deberían orientarse plenas al norte, con incorporación de algún mecanismo para evitar ingreso de radiación solar directa, mejorar la distribución de la iluminancia interior y elevar sus niveles en las zonas más alejadas de las ventanas (por ejemplo, a partir de estantes de luz, *brise-soleil* o luz cenital).

Se han registrado valores excesivos de concentración de  $\text{CO}_2$ , fundamentalmente en el período invernal, cuando la ventilación natural es obturada al máximo, para evitar la entrada de frío o de los sonidos provenientes del patio. Los indicadores de opinión evidencian un alto porcentaje de disconfort respecto de la percepción de aire viciado, tanto en invierno como en verano (70% a 79%).

En el aspecto acústico, se han registrado niveles de ruido superiores a los admisibles. Los indicadores de opinión evidencian alto porcentaje de disconfort respecto de la percepción de ruidos molestos (79% a 100%), seguramente producida por una insuficiente aislación acústica entre locales y la reverberación generada en ámbitos cerrados sin tratamiento acústico de ningún tipo. Se deberían proponer muros de fondo o cielorrasos con absorción acústica para reducir el tiempo de reverberación y preferentemente ventilar por sistemas que minimicen el ingreso de ruido aéreo, alejando las aberturas o rejillas de ventilación de las fuentes sonoras (calle, corredores y patios, según sea el caso) o estableciendo protocolos de ventilación en horarios donde no hubiese alumnos.

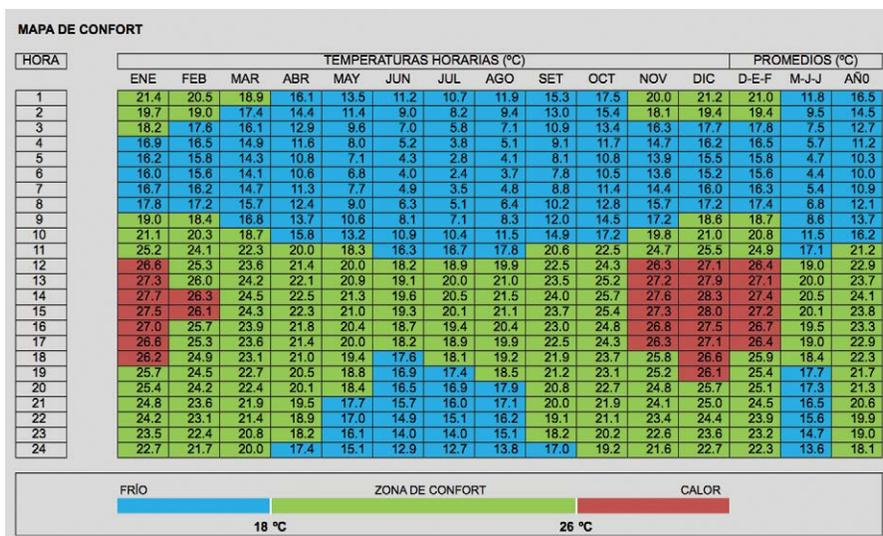
### **Clima Templado Seco con necesidad de sombreado + ventilación + calefacción. (Salta)**

Se trata de una escuela suburbana de la ciudad de Salta capital, a 1188 m de altura sobre nivel del mar, en una situación mediterránea. Las condiciones de Salta corresponden a un clima templado seco, zona bioclimática IIIa (Norma IRAM 11603) con gran amplitud térmica entre el día y la noche (superior a  $14^\circ\text{C}$ ), constante durante todo el año, con medias máximas relativamente baja en verano ( $27,1^\circ\text{C}$ ) y medias mínimas en invierno ( $3,7^\circ\text{C}$ ). Entorno con edificios dispersos, de baja altura y presencia de vientos en verano de predominancia Noreste y Norte, con velocidad media baja de  $3\text{Km/h}$ . Tipología de una sola planta, con aulas entorno a un patio cuadrangular con circulaciones exteriores protegidas de la radiación solar.

GRÁFICA 54.

Escuela Primaria Roque Chieli, N°4731. Ciudad de Salta.

Clima templado seco

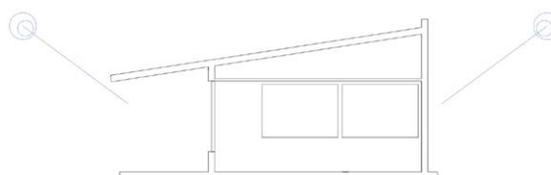


Salta

Debido a las temperaturas medias y medias bajas, con baja humedad relativa (HR), se requiere aislación e inercia térmica de la envolvente, tanto en invierno como en verano. Además, calentamiento de aire en invierno, el cual en esta latitud podría ser resuelto mediante sistemas solares pasivos (SSP), con fachadas colectoras (invernadero, MAC o colectores de aire) orientadas al norte y ventilación cruzada y selectiva nocturna. En el caso particular de las aulas auditadas, presentan condiciones higrotérmicas que se encuentran en confort durante el invierno debido a la utilización de sistemas de calefacción. En verano con rangos de confort higrotérmico por encima del confort, alcanzando los 29°C y 35 % de HR, debido al ingreso de aire caliente desde el exterior y una inadecuada aislación térmica de la envolvente, con una gran sollicitación de la radiación solar, sobre todo en las cubiertas. Pese al sobrecalentamiento registrado, los alumnos manifiestan estar en confort térmico (35% a 55%), lo cual refleja un cierto grado de tolerancia a temperaturas extremas. En verano, gran parte de ellos se viste con ropa liviana y admite que transpira (34% a 52%). En invierno, se mantiene la opinión favorable

GRÁFICA 55.

Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Salta



respecto de las condiciones térmicas (65% a 84%), pero los alumnos acondicionan su grado de bienestar con abrigos.

En cuanto a las condiciones lumínicas, los valores registrados cumplen con el RCL, pero no así el CLD, seguramente debido a las características dimensionales y de localización de los aventanamientos. No obstante, los alumnos perciben este aspecto como favorable (65% a 85%). Se requiere lograr una mejor distribución de la luz natural, diseñando aventanamientos que produzcan mayor iluminancia y una distribución más homogénea en todo el local y evitar el acceso directo de la radiación solar y el aire caliente del exterior

Desde el punto de vista acústico, los alumnos señalan mayoritariamente estar en discomfort (65% a 95%), con niveles por encima del RCL. Este efecto se produce por falta de tratamiento del campo acústico interior, en cuyo caso se deberían agregar superficies absorbentes en paredes o cielorrasos. El invierno es la estación valorada en forma más desfavorable tanto en el aspecto acústico como en lo relacionado a la calidad del aire.

En el caso de la calidad del aire, la gran mayoría de los alumnos percibe aire viciado (56% a 95%), con valores que generalmente se encuentran dentro de los rangos admisibles de concentración de CO<sub>2</sub>. Por lo cual, la causa del problema podría derivarse del funcionamiento de equipos de calefacción, de la falta de humedad en el ambiente, de los olores generados por la ocupación.

### **Clima templado frío con necesidad de sombreado + ventilación + calefacción. (Mendoza, Tandil)**

Escuela suburbana, localizada en la ciudad capital en una zona templada fría a 735 m SNM, con características de oasis. Las temperaturas medias máximas en verano son de 31.7°C y las medias mínimas en invierno, de 1.7°C, con humedad relativa media anual baja (46,7%) y 128 grados día (GD18) de calefacción anual. Vientos moderados predominantes del cuadrante Oeste, Sudeste en invierno y Sur, Noreste, Sudeste y Sudoeste en verano, con una precipitación anual de 200 mm. Tipología de batería de aulas en una sola planta y una sola crujía, con techo a un agua, galería semicubierta y construcción tradicional.

Las condiciones climáticas de la ciudad de Tandil, a 188m SNM, corresponde a un clima templado frío, con necesidad de calefacción. La temperatura media mínima de invierno es de 3.2°C y la máxima media de verano, de 26.8°C. Vientos del sector Suroeste en invierno y Noroeste, Norte y Noreste en verano. El edificio se debe adecuar a la rigurosidad del clima en

cuanto a su organización y envolvente edilicia. Edificio compacto en dos plantas, en torno a un patio, con volumen interior muy amplio lo que no favorece su correcta climatización. Tecnología tradicional, semipesada y cubierta liviana.

#### **Mendoza**

En el período invernal, las condiciones higrotérmicas del aula se encuentran por debajo del RCL. En ambos períodos invierno y verano, los alumnos en su mayoría manifiestan estar en confort (69% a 82%), pero bastantes abrigados en el período invernal (50% a 75%). En este último se requiere de calentamiento de aire, el cual puede ser resuelto por incorporación de sistemas solares pasivos (SSP) o calefacción tradicional adicional. Se requiere mejorar el aislamiento térmico de toda la envolvente edilicia, priorizándose el de techos, ya que es por donde se producen las mayores pérdidas térmicas. En verano, la situación higrotérmica del aula se encuentra dentro del rango de confort. En este caso, convendría mejorar el diseño de los aventanamientos para poder implementar estrategias de ventilación cruzada. A causa de la falta de ventilación y la utilización de sistemas de calefacción en invierno, la concentración de aire viciado no es la conveniente. El 90% de los alumnos así lo expresa.

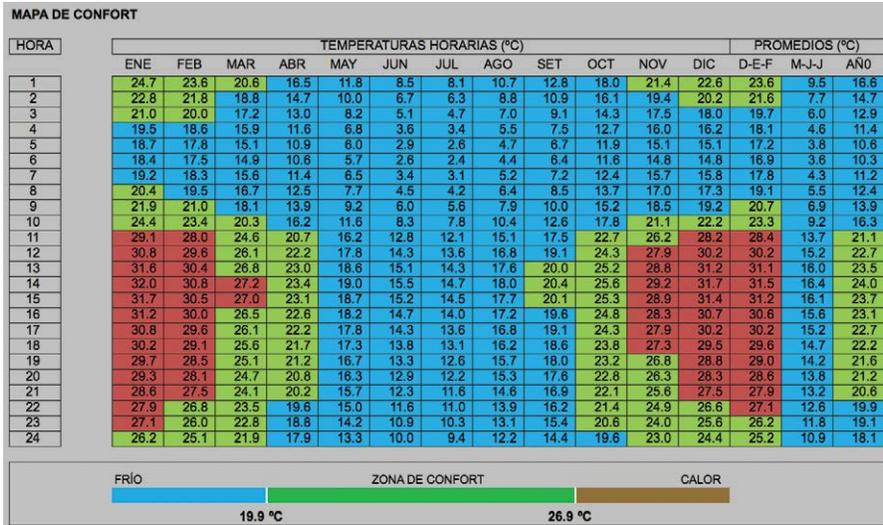
#### **Tandil**

Las condiciones higró-térmicas de las aulas auditadas se encuentran fuera de confort en el período invernal, si bien cuentan con equipos de climatización. Los alumnos manifiestan en su mayoría estar en confort (81%), pero con vestimenta abrigada (58% a 65%). El calentamiento de aire puede ser resuelto implementando una correcta orientación solar y sistemas solares pasivos (SSP), como muros colectores de aire, livianos o pesados (MAC). Además, se requiere mejorar el aislamiento térmico en toda la envolvente edilicia (muros, techos, piso y acristalamiento), así como eliminar los puentes térmicos.

La mayoría de los alumnos opinan que se encuentran en confort lumínico (45% a 74%) en ambas localizaciones, coincidiendo en el caso de Tandil con

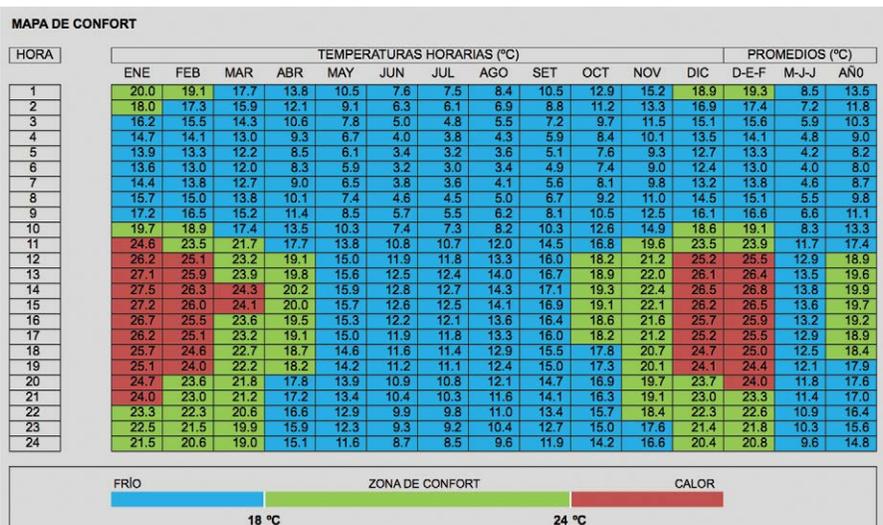
GRÁFICA 56.

Escuela Escultor Roberto Rosas, N°1745. Ciudad de Mendoza.  
Clima templado frío (semiárido).



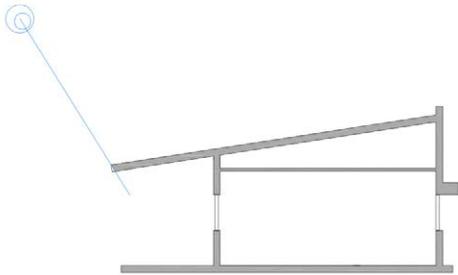
GRÁFICA 57.

Escuela Elisa Solari de Levy Nicolás, N°14. Ciudad de Tandil. Clima templado frío.



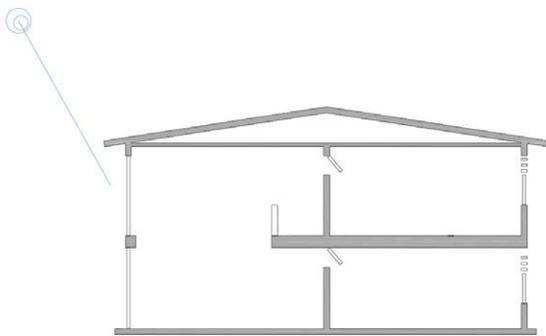
GRÁFICA 58.

**Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Mendoza**



GRÁFICA 59.

**Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Tandil**



registros promedio aceptables. No obstante, en Mendoza, la iluminancia registrada en las aulas es baja y poco uniforme, no cumpliendo con los estándares recomendados. Se observan iluminancias muy altas cerca de los aventanamientos y bajas en el lado opuesto, lo cual requiere ser equilibrado. Esto implica la necesidad de disminuir las iluminancias máximas cerca de las ventanas, especialmente en la orientación Norte, diseñando aventanamientos que produzcan iluminancias más uniformes en todo el local. Se podrían incorporar estantes de luz en ventanas o sombreado de galería, que impida la incidencia directa de la radiación solar en la fachada norte y reflejar luz hacia la parte opuesta del aula utilizando colores claros, tanto en estantes de luz de fachada, como en pisos

de galerías, según sea el caso. Para elevar los niveles de iluminancia en la parte más oscura del aula, sería deseable incorporar pisos reflectantes o lumiductos en galerías orientadas al Norte.

La sensación de desconfort acústico por parte de los alumnos es generalizada (95% a 100%), con independencia de la época del año, con registros por encima de los valores normativos, por lo cual se requiere tratar el campo acústico interior de aulas y circulaciones.

En el caso de Tandil, las mediciones arrojan valores de concentración de  $\text{CO}_2$  por encima de lo admisible (1356 / 2000 ppm), y los alumnos manifiestan claramente esta situación de desconfort (79% en invierno). Se visualiza la necesidad de mejorar la ventilación controlada naturalmente o implementar sistemas automatizados.

### Clima muy frío con necesidad de calefacción (Bariloche)

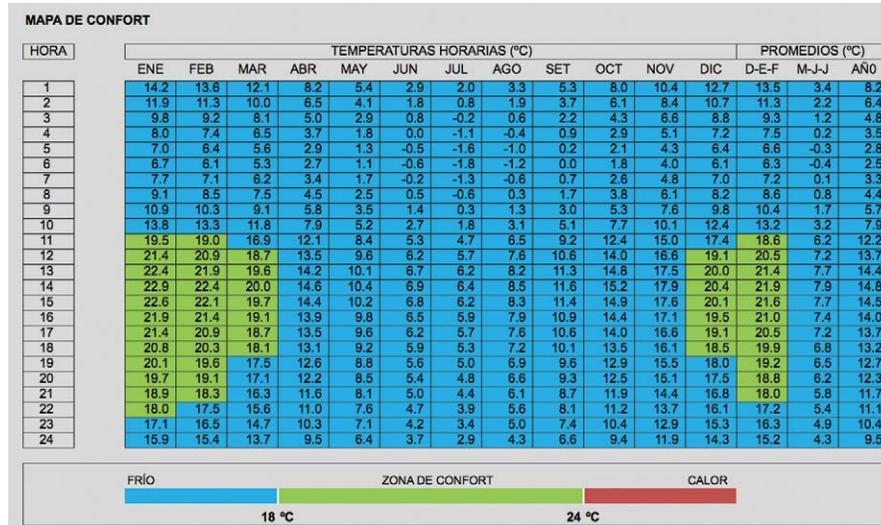
Establecimiento localizado en la periferia de la ciudad de Bariloche a 893m SNM. Temperaturas medias mínimas en invierno de  $-1.1^\circ\text{C}$  y medias máximas en verano de  $20.4^\circ\text{C}$  y 3681 GD18 de calefacción. Humedad relativa media anual de 65,8%, con nevadas intensas durante el período invernal. La situación higrotérmica anual requiere calefacción en prácticamente todo el período lectivo. Se ha adoptado una tipología compacta con pasillo central, en doble cruzía, con orientación de las aulas al Noreste y Suroeste. Construcción tradicional. Aulas de planta cuadrada con iluminación unidireccional.

#### Bariloche

Las condiciones higrotérmicas de las aulas auditadas se encuentran en confort, a partir de la utilización de equipos de climatización tradicional. Los alumnos manifiestan estar en su mayoría en confort (65% a 97%) y con vestimenta abrigada (45 a 56%). El calentamiento de aire puede ser resuelto implementando

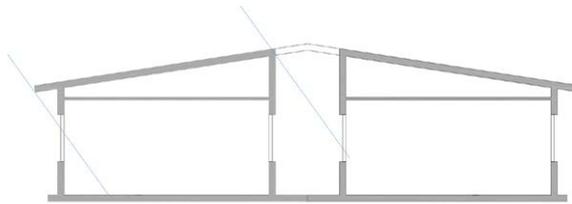
GRÁFICA 60.

Escuela, N°367. Ciudad de San Carlos de Bariloche. Clima muy frío.



GRÁFICA 61.

Aislación térmica de la envolvente edilicia.  
Calefacción solar + tradicional. Bariloche



una correcta orientación solar y sistemas solares pasivos (SSP), como muros colectores de aire livianos. Además, se requiere mejorar el aislamiento térmico de toda la envolvente edilicia (muros, techos, piso y acristalamiento), así como eliminar los puentes térmicos.

La mayoría de los alumnos opinan que se encuentran en confort lumínico (59% a 93%), lo cual coincide con valores promedio aceptables.

La sensación de disconfort acústico es generalizada (94% a 100%), verificándose que los niveles se

encuentran por encima de lo admisible. Se requiere tratar el campo acústico de aulas y circulación interior y relocalizar los equipos de aire acondicionado, lejos de las zonas de circulación interior y aulas.

Las mediciones arrojan valores de concentración de CO<sub>2</sub> muy por encima de lo admisible (1530 ppm), y los alumnos manifiestan claramente esta situación de disconfort (71% en invierno y 44% en verano). Se visualiza la necesidad de optimizar la ventilación, controlada naturalmente o por sistemas automatizados.

## COLOMBIA (CO)

Las localizaciones estudiadas corresponden a estación seca o lluviosa:

### Clima cálido húmedo

- Escuela El Progreso. Ciudad de Yopal
- Escuela Carrasquilla Industrial. Ciudad de Quibdó.

### Clima cálido seco

- Escuela Germán Vargas Cantillo. Ciudad de Barranquilla.
- Escuela etnoeducativa rural Lachoon Mayapo. Ciudad de Manaure.

### Clima templado húmedo

- Escuela Bicentenario. Ciudad de Ibagué.
- Escuela Samaria. Ciudad de Pereira.

### Clima templado frío

- Escuela Seminario. Ciudad de Ipiales.
- Escuela Soacha para vivir mejor. Ciudad de Soacha.

## Clima cálido húmedo con necesidad de sombreado + ventilación (Yopal, Quibdó)

El clima en Yopal es cálido tropical, con temperaturas medias anuales que registran valores entre 22°C y 30,4°C (con un período cálido muy marcado durante seis meses al año). Se trata de un bloque conformado por aulas en batería con circulaciones en galería hacia el Sur, agrupadas en dos niveles. Aulas con iluminación bilateral en fachadas opuestas y orientación principal al Norte. No poseen carpinterías de cerramiento tratadas con celosía de lamas verticales.

Se encuentra a 43m SNM y tiene una temperatura promedio de 28°C. Por sus condiciones geográficas, es el lugar de Sudamérica con la mayor precipitación promedio anual, registrando valores que superan los 8991mm. El clima cálido presenta condiciones estables benignas, con un alto contenido de humedad, por lo cual se requiere incorporar estrategias de ventilación cruzada natural de forma permanente, sombreado

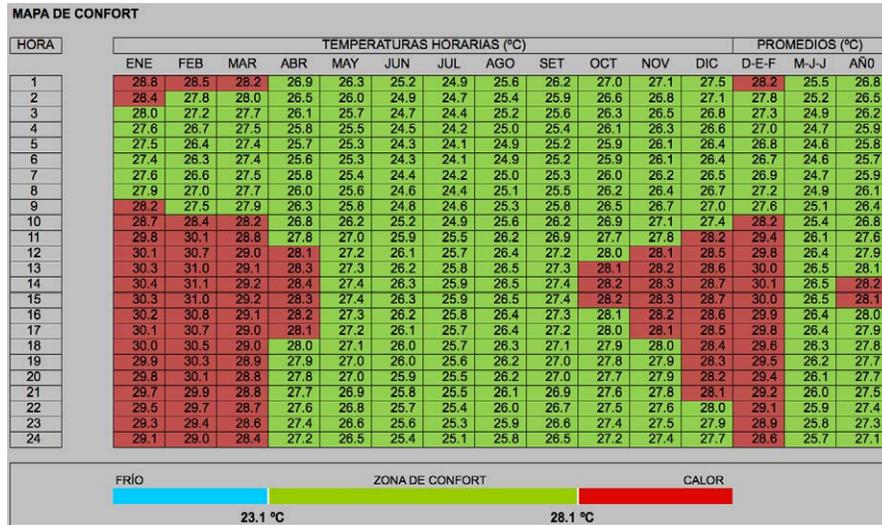
de espacios exteriores, muros y aventanamientos. El caso analizado está compuesto de dos bloques de baterías de aulas apiladas en dos niveles simétricos, con circulaciones en torno a un espacio circulatorio longitudinal cubierto, que funciona como patio. Las aulas orientadas al Norte y al Sur tienen ventilación cruzada permanente. Techo de sombra liviano, tecnología semipesada para losas y muros divisorios, y fachada totalmente permeable. Las cubiertas han sido pensadas para aprovechar el viento y regular de este modo la temperatura al interior de la edificación. Por medio de los aleros curvos, se pretende llevar el aire al interior para mejorar la succión de aire caliente. La ventilación cruzada se refuerza por efecto chimenea y de convección hacia los corredores internos. Las fachadas principales se orientan en dirección Norte-Sur, en tanto las fachadas este y oeste son cerradas. Las aulas no poseen carpinterías y los cerramientos están conformados por celosías metálicas y malla galvanizada.

### Yopal

En el período lluvioso, el aula auditada se encuentra por encima del RCL con temperaturas interiores de 31°C que superan a las que se registran en el exterior, debido al calentamiento de la masa edilicia y la carga térmica aportada por la ocupación. Los indicadores de opinión señalan que los alumnos que manifiestan estar en disconfort no superan el 28%, no obstante transpira un alto porcentaje (64% a 79%), por lo cual es evidente el grado de acostumbramiento a condiciones extremas. Se requiere mejorar las estrategias de ventilación cruzada para obtener refrescamiento: a) con sombreado de áreas exteriores para lograr que el aire que acceda tenga menor temperatura y b) evitando el calentamiento de la masa exterior con sombreado (muros, techos y losas), o c) de la masa interior, incorporando aislación térmica en envolvente. Las condiciones lumínicas de las aulas son desfavorables, con registros de iluminancia interior inferiores a los recomendados. Se observa que la mayor parte del tiempo hay que recurrir a la iluminación artificial

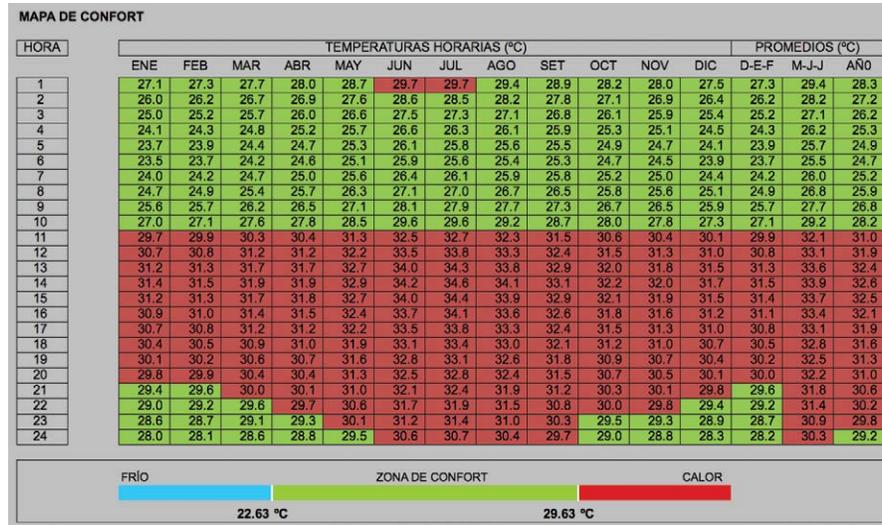
GRÁFICA 62.

Institución educativa El Progreso. Ciudad de Yopal. Clima cálido

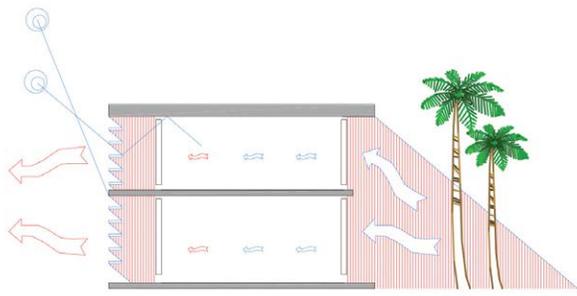


GRÁFICA 63.

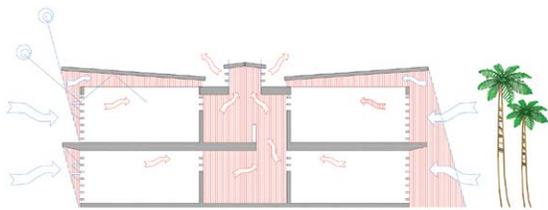
Institución Educativa Carrasquilla Industrial. Ciudad de Quibdó. Clima árido húmedo



GRÁFICA 64.

**Sombreo. Ventilación natural. Yopal**

GRÁFICA 65.

**Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la cubierta. Quibdó**

complementaria (por lo tanto, tampoco se registra radiación directa sobre los pupitres, reflejos molestos, ni deslumbramiento ocasionados por la iluminación artificial). No obstante, el 68% de los estudiantes considera que la iluminación es adecuada; nuevamente se registra un alto grado de acostumbramiento a condiciones deficitarias.

**Quibdó**

Las condiciones higrotérmicas de las aulas auditadas en el período lluvioso se han registrado fuera del rango de confort local, con alta temperatura y humedad relativa (28,9°C y 89,7%). Los indicadores de opinión señalan que la totalidad de los alumnos en este período están provistos de ropa muy liviana, no obstante, transpiran más del 60%, pero los que manifiestan percibir disconfort térmico no superan el 23%. Esto implica que los alumnos admiten la transpiración como algo natural, lo que manifiesta acostumbramiento a estas condiciones extremas. Se deberían

mejorar las estrategias incorporadas al proyecto, con sombreado de áreas exteriores, así como evitar el calentamiento de la masa edilicia exterior e interior, incluso de las fachadas a fin de evitar que se calienten e irradien calor hacia el interior.

En Quibdó, las condiciones de confort lumínico son favorables, al cumplir con los niveles mínimos de iluminancia recomendados, pero con un bajo coeficiente de uniformidad, el cual no pareciera ser un problema para los alumnos, ya que prácticamente la totalidad opina estar en confort (92% a 100%), seguramente las visuales directas al exterior inciden en esta valoración positiva tan marcada. Para lograr un mejoramiento de estas condiciones, se debería pensar el diseño de los aventanamientos no solo desde el punto de vista estético, sino de calidad ambiental incorporando protección solar exterior y densificando las zonas de sombreado en sectores de fachada para evitar la incidencia solar directa.

En Yopal, la mayoría de los alumnos opina que existen ruidos molestos (80 a 100%), debido a la falta de aislamiento acústico, ya que las aulas son abiertas, y a la reverberación producida por la ausencia de superficies absorbentes. En el caso de Quibdó, por tratarse de aulas permanentemente ventiladas, los registros de sonido se sitúan fuera de la zona de confort. El 70% de los alumnos admiten percibirlos. Las aulas tampoco poseen tratamiento acústico. Para intentar reducir el nivel de ruido aéreo se requerirá tratar las zonas comunes y exteriores mediante apantallamientos y barreras acústicas. Por otro lado, se aconseja el tratamiento de los paramentos interiores de aulas con superficies y espesores de materiales absorbentes adecuados para reducir los tiempos de reverberación.

En todas las situaciones auditadas las concentraciones de CO<sub>2</sub> se encuentran dentro de los rangos admisibles. No obstante, los alumnos que manifiestan percibir condiciones inadecuadas de confort representan aproximadamente el 50% del total, lo cual posiblemente acusa la presencia de otros problemas que inciden en la percepción de la calidad del aire, como olores, humedad, calor, etc.

**Clima cálido seco con necesidad de sombreado + ventilación. (Barranquilla, Manaure)**

El clima de Barranquilla es de tipo tropical seco, con períodos con mayor humedad y altas temperaturas que se mantienen constantes a lo largo del año con un promedio de 27,4°C. De noviembre hasta principios de abril, coincidiendo con el invierno boreal, soplan los vientos alisios del Noreste, que mitigan en parte el intenso calor y, hacia fines de junio, soplan los alisios del Sureste. En Barranquilla, existen dos períodos estacionales definidos por las precipitaciones: uno seco, de diciembre a abril, y otro lluvioso, que abarca de abril a principios de diciembre. Edificio organizado en torno a dos patios con circulaciones en galería. Grupos de aulas apiladas en dos niveles, con ventilación permanente, orientadas al Norte y Sur. La tecnología es semipesada y cubiertas livianas diseñadas como techo de sombra, para permitir la ventilación permanente.

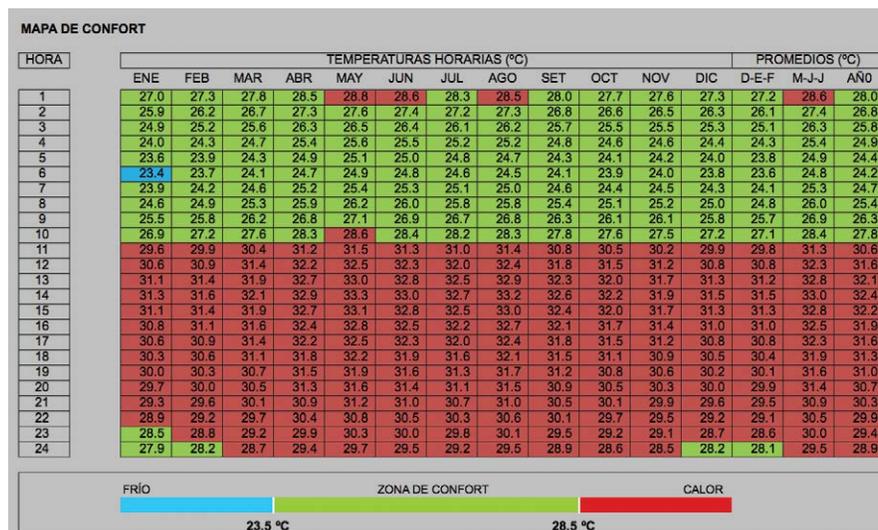
Las condiciones climáticas de Manaure son extremas, con un período cálido seco de estepa durante

todo el año, refrescado por las brisas marinas del Noreste. La temperatura anual oscila entre los 28°C y los 38°C. Debido a las altas temperaturas y a la intensidad de los vientos, la evaporación es muy alta. Los vientos que provienen del Noreste ocasionan la época de mayor sequía, con lluvias muy escasas. Tipología de aulas apareadas formando pabellones aislados en una sola planta. Techo a dos aguas con aleros en ambas fachadas y tecnología semipesada para muros, situada en un entorno rural. Aulas con aventanamiento bilateral en caras opuestas (Norte y Sur) y protección solar mediante celosías cerámicas fijas, que permiten ventilación cruzada permanente.

**Barranquilla**

Según las condiciones medias anuales de temperatura y HR, se requiere incorporar ventilación cruzada, teniendo en cuenta la necesidad de que el aire que accede tenga menor temperatura que la exterior (esto implica sombreado de áreas exteriores, así como evitar el calentamiento de la masa exterior e interior). Además, puede incorporarse ventilación selectiva nocturna cuando los edificios son pesados, y aislación térmica, principalmente en cubiertas, todo lo cual

GRÁFICA 66. **Institución educativa Germán Vargas Cantillo. Ciudad de Barranquilla. Cálido seco.**



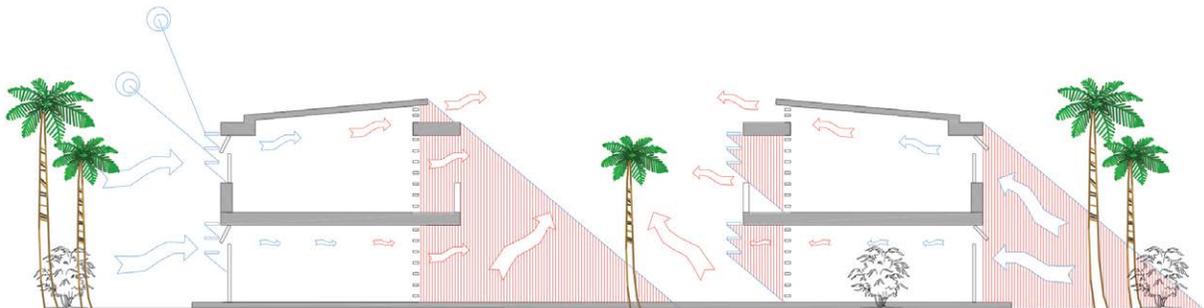
**GRÁFICA 67.**  
**Institución etnoeducativa rural Lachoon Mayapo. Ciudad de Manaure.**  
**Clima cálido seco.**

**MAPA DE CONFORT**

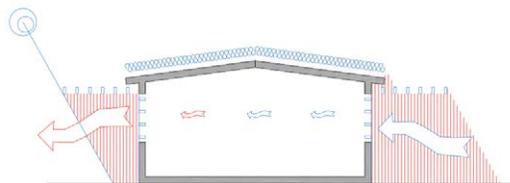
| HORA | TEMPERATURAS HORARIAS (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | PROMEDIOS (°C) |       |      |
|------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-------|------|
|      | ENE                        | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT  | NOV  | DIC  | D-E-F          | M-J-J | AÑO  |
| 1    | 27.1                       | 27.3 | 27.7 | 28.0 | 28.7 | 29.7 | 29.7 | 29.4 | 28.9 | 28.2 | 28.0 | 27.5 | 27.3           | 29.4  | 28.3 |
| 2    | 26.0                       | 26.2 | 26.7 | 26.9 | 27.6 | 28.6 | 28.5 | 28.2 | 27.8 | 27.1 | 26.9 | 26.4 | 26.2           | 28.2  | 27.2 |
| 3    | 25.0                       | 25.2 | 25.7 | 26.0 | 26.6 | 27.5 | 27.3 | 27.1 | 26.8 | 26.1 | 25.9 | 25.4 | 25.2           | 27.1  | 26.2 |
| 4    | 24.1                       | 24.3 | 24.8 | 25.2 | 25.7 | 26.6 | 26.3 | 26.1 | 25.9 | 25.3 | 25.1 | 24.5 | 24.3           | 26.2  | 25.3 |
| 5    | 23.7                       | 23.9 | 24.4 | 24.7 | 25.3 | 26.1 | 25.8 | 25.6 | 25.5 | 24.9 | 24.7 | 24.1 | 23.9           | 25.7  | 24.9 |
| 6    | 23.5                       | 23.7 | 24.2 | 24.6 | 25.1 | 25.9 | 25.6 | 25.4 | 25.3 | 24.7 | 24.5 | 23.9 | 23.7           | 25.5  | 24.7 |
| 7    | 24.0                       | 24.2 | 24.7 | 25.0 | 25.6 | 26.4 | 26.1 | 25.9 | 25.8 | 25.2 | 25.0 | 24.4 | 24.2           | 26.0  | 25.2 |
| 8    | 24.7                       | 24.9 | 25.4 | 25.7 | 26.3 | 27.1 | 27.0 | 26.7 | 26.5 | 25.8 | 25.6 | 25.1 | 24.9           | 26.8  | 25.9 |
| 9    | 25.6                       | 25.7 | 26.2 | 26.5 | 27.1 | 28.1 | 27.9 | 27.7 | 27.3 | 26.7 | 26.5 | 25.9 | 25.7           | 27.7  | 26.8 |
| 10   | 27.0                       | 27.1 | 27.6 | 27.8 | 28.5 | 29.6 | 29.6 | 29.2 | 28.7 | 28.0 | 27.8 | 27.3 | 27.1           | 29.2  | 28.2 |
| 11   | 29.7                       | 29.9 | 30.3 | 30.4 | 31.3 | 32.5 | 32.7 | 32.3 | 31.5 | 30.6 | 30.4 | 30.1 | 29.9           | 32.1  | 31.0 |
| 12   | 30.7                       | 30.8 | 31.2 | 31.2 | 32.2 | 33.5 | 33.8 | 33.3 | 32.4 | 31.5 | 31.3 | 31.0 | 30.8           | 33.1  | 31.9 |
| 13   | 31.2                       | 31.3 | 31.7 | 31.7 | 32.7 | 34.0 | 34.3 | 33.8 | 32.9 | 32.0 | 31.8 | 31.5 | 31.3           | 33.6  | 32.4 |
| 14   | 31.4                       | 31.5 | 31.9 | 31.9 | 32.9 | 34.2 | 34.6 | 34.1 | 33.1 | 32.2 | 32.0 | 31.7 | 31.5           | 33.9  | 32.6 |
| 15   | 31.2                       | 31.3 | 31.7 | 31.8 | 32.7 | 34.0 | 34.4 | 33.9 | 32.9 | 32.1 | 31.9 | 31.5 | 31.4           | 33.7  | 32.5 |
| 16   | 30.9                       | 31.0 | 31.4 | 31.5 | 32.4 | 33.7 | 34.1 | 33.6 | 32.6 | 31.8 | 31.6 | 31.2 | 31.1           | 33.4  | 32.1 |
| 17   | 30.7                       | 30.8 | 31.2 | 31.2 | 32.2 | 33.5 | 33.8 | 33.3 | 32.4 | 31.5 | 31.3 | 31.0 | 30.8           | 33.1  | 31.9 |
| 18   | 30.4                       | 30.5 | 30.9 | 31.0 | 31.9 | 33.1 | 33.4 | 33.0 | 32.1 | 31.2 | 31.0 | 30.7 | 30.5           | 32.8  | 31.6 |
| 19   | 30.1                       | 30.2 | 30.6 | 30.7 | 31.6 | 32.8 | 33.1 | 32.6 | 31.8 | 30.9 | 30.7 | 30.4 | 30.2           | 32.5  | 31.3 |
| 20   | 29.8                       | 29.9 | 30.4 | 30.4 | 31.3 | 32.5 | 32.8 | 32.4 | 31.5 | 30.7 | 30.5 | 30.1 | 30.0           | 32.2  | 31.0 |
| 21   | 29.4                       | 29.6 | 30.0 | 30.1 | 31.0 | 32.1 | 32.4 | 31.9 | 31.2 | 30.3 | 30.1 | 29.8 | 29.6           | 31.8  | 30.6 |
| 22   | 29.0                       | 29.2 | 29.6 | 29.7 | 30.6 | 31.7 | 31.9 | 31.5 | 30.8 | 30.0 | 29.8 | 29.4 | 29.2           | 31.4  | 30.2 |
| 23   | 28.6                       | 28.7 | 29.1 | 29.3 | 30.1 | 31.2 | 31.4 | 31.0 | 30.3 | 29.5 | 29.3 | 28.9 | 28.7           | 30.9  | 29.8 |
| 24   | 28.0                       | 28.1 | 28.6 | 28.8 | 29.5 | 30.6 | 30.7 | 30.4 | 29.7 | 29.0 | 28.8 | 28.3 | 28.2           | 30.3  | 29.2 |

FRÍO                      ZONA DE CONFORT                      CALOR  
 22.63 °C                      29.63 °C

**GRÁFICA 68.**  
**Sombreo. Ventilación natural. Barranquilla**



**GRÁFICA 69.**  
**Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la cubierta. Manaure**



parece haber sido tenido en cuenta en el proyecto. No obstante, en el período lluvioso se ha registrado que el aula se encuentra fuera de los rangos de confort higrotérmico (32,9°C y 67,4% HR) y los indicadores de opinión señalan que solo un 25% de los alumnos manifiesta tener calor, pero en realidad la gran mayoría transpira, aun estando provistos de ropa muy liviana, con un alto grado de acostumbramiento a estas condiciones extremas. Se deberían mejorar las estrategias aplicadas al proyecto, mediante el sombreado de áreas exteriores para evitar el calentamiento de la masa edilicia exterior e interior y la radiación directa sobre las ventanas en la fachada Sur.

### Manaure

Los registros de temperatura y humedad dentro del aula son extremas (29,7°C y 78,6% HR); no obstante, se encuentran dentro de los rangos de confort local. El 54% de los alumnos manifiesta estar en desconfort y la misma proporción dice que transpira. Las condiciones higrotérmicas externas se trasladan casi directamente al interior del aula, en consecuencia se requiere: (i) evitar el calentamiento de la masa, tanto exterior como interior, mejorando la aislación térmica de los techos y el sombreado (de muros, techos y ventanas) y evitando el efecto de inercia térmica; (ii) mejorar las estrategias de ventilación cruzada para producir una efectiva descarga térmica de los espacios, orientando las aberturas de modo de poder aprovechar las brisas de mar y sombreando las aéreas exteriores.

Se trata de dos situaciones bastante diferentes en el aspecto lumínico. En el caso de Barranquilla, los registros de iluminancia interior son excesivamente altos, por lo que se requiere una mejora en el diseño de los aventanamientos o fachadas expuestas a la orientación solar dominante, sobre todo, con protección exterior para evitar que la radiación solar acceda en forma directa al interior del aula e incida sobre el plano de trabajo, así como para evitar sobrecalentamiento de la masa edilicia. A pesar de que las condiciones lumínicas de las aulas son desfavorables (por exceso), solo una parte relativamente pequeña de los

alumnos (menor al 36%) manifiesta ser consciente de esta situación, lo que evidencia un grado importante de acostumbramiento. En el caso de Manaure, las condiciones lumínicas de las aulas son muy desfavorables ya que todos los registros se encuentran por debajo de los rangos normativos. Paralelamente, un alto porcentaje de los alumnos manifiestan estar en desconfort (50%). Se debería reemplazar este tipo de aventanamientos, aplicando las estrategias mencionadas anteriormente.

Los niveles sonoros registrados se sitúan fuera de la zona de confort y casi la totalidad de los alumnos encuestados (superior al 95%) manifiesta percibir ruidos molestos. Los motivos principales deben buscarse en: a) la deficiente aislación acústica del local en relación a la cercanía de circulaciones y patios; b) la falta de tratamiento del campo acústico interior; y c) la necesidad de ventilación y la imposibilidad del cierre hermético del local. Se requiere: a) tratar las zonas comunes y exteriores mediante apantallamientos y barreras acústicas, para intentar reducir el nivel de ruido aéreo; b) mejorar el aislamiento acústico para evitar la entrada de ruido; c) acondicionar los cielorrasos o paramentos interiores de aulas con superficies y espesores de materiales absorbentes adecuados, para reducir los tiempos de reverberación; d) ventilar por sistemas que minimicen el ingreso de ruido aéreo, alejando las aberturas o rejillas de ventilación de las fuentes sonoras (calle, corredores y patios, según sea el caso) o estableciendo protocolos de ventilación en horarios donde no hubiese alumnos.

En Manaure, no se registran problemas de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire, en tanto que, en Barranquilla, la concentración de CO<sub>2</sub> se ha encontrado fuera de los rangos admisibles solo en alguna de las aulas auditadas. En ambos casos, el porcentaje de usuarios que manifiesta estar en desconfort se mantiene constante, entre 44% a 67%. Habría que indagar la presencia de otros problemas que inciden en la percepción, como olores generados por la ocupación, la humedad y la temperatura del aire.

### Clima templado húmedo con necesidad de sombreado + ventilación (Ibagué, Pereira)

Situada sobre la cordillera de los Andes, a una altitud de 1285 m SNM, con una temperatura promedio de 22°C. Por estar situada en la región del ecuador, no presenta ciclo estacional. Las condiciones son estables y benignas con un alto contenido de humedad relativa, y se requiere ventilación cruzada, sombreado de espacios exteriores, en muros y aventanamientos. Se trata de un gran complejo que está organizado alternando patios y bloques conformados por aulas apareadas con circulaciones en galería hacia el Sur, apiladas en dos niveles. Aulas con iluminación bilateral en fachadas opuestas con orientación principal al Norte y ventilación cruzada permanente. Tecnología semipesada y techo de sombra liviano.

La temperatura de Pereira, localizada a 1411m SNM, es estable y benigna durante todo el año, con alta humedad relativa; se requiere ventilación cruzada y sombreado de espacios exteriores, muros y aventanamientos. Se trata de un complejo educativo de grandes dimensiones situado en la periferia urbana, con un entorno densamente poblado. Bloque

conformado por agrupamiento de aulas con circulaciones en galería hacia el Sur, apiladas en dos niveles. Aulas con iluminación bilateral en fachadas opuestas, con orientación principal al Norte. Protección solar de fachadas con parasoles verticales.

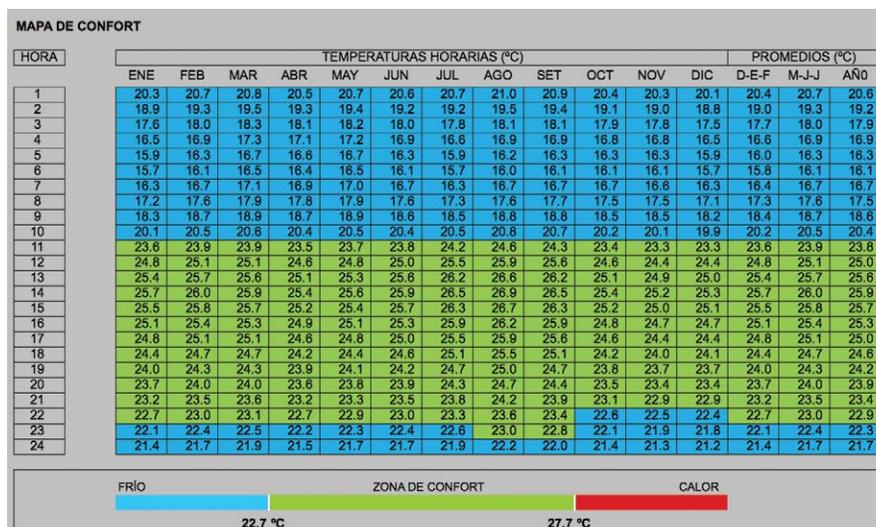
#### Ibagué

Las condiciones internas del aula registradas en período seco, se encuentran dentro del rango de confort local, aunque con alta humedad relativa (superior al 70%). Los indicadores de opinión indican que solo algunos alumnos están abrigados (44%). La mayoría manifiesta confort térmico (69% a 88%). Se requiere aislamiento térmico de la envolvente edilicia y diseño del área opaca y vidriada. Es necesario mejorar el sombreado de áreas exteriores, así como evitar el calentamiento de la masa exterior e interior.

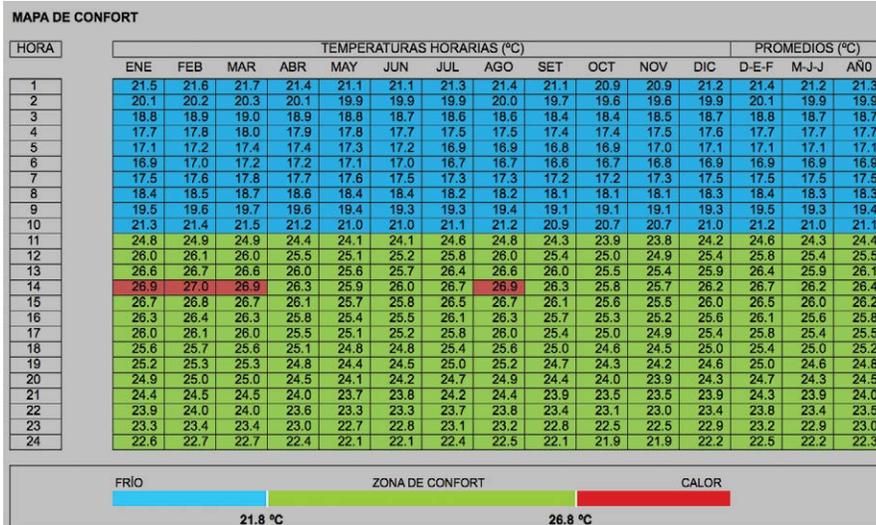
#### Pereira

Los registros de las aulas auditadas en el período seco se encuentran dentro del rango de confort local. Los alumnos que señalan estar con falta de confort en ningún caso superan el 28%, cifra que está en consonancia con los que se encuentran abrigados (25% a 30%). Debido a las características del clima, un 40% de los alumnos manifiestan que transpiran habitualmente.

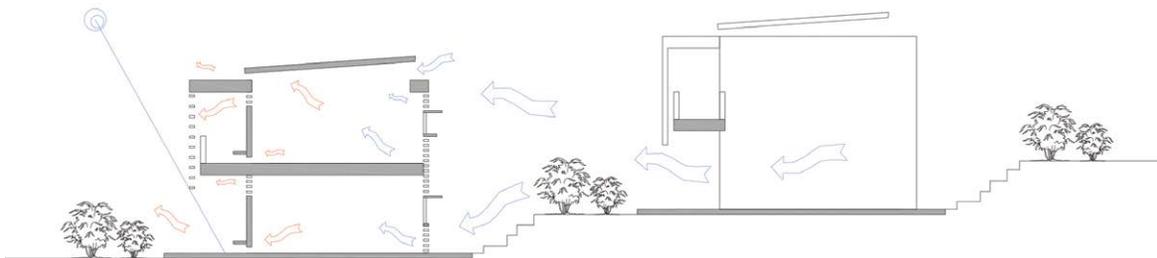
GRÁFICA 70. Institución educativa Bicentenario. Ciudad de Ibagué. Clima templado húmedo.



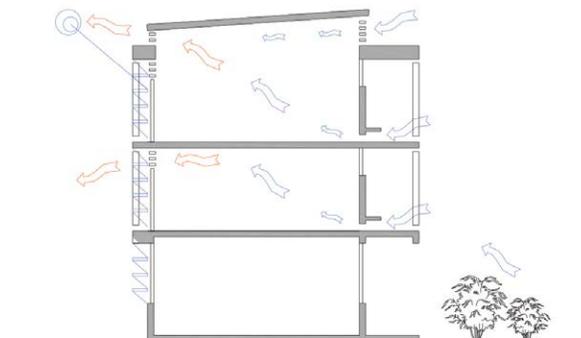
GRÁFICA 71.  
 Institución educativa Samaria. Ciudad de Pereira.  
 Clima templado húmedo.



GRÁFICA 72.  
 Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Ibagué



GRÁFICA 73.  
 Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Pereira



Sería deseable una mejora de la aislación térmica de la envolvente edilicia.

En estas aulas, las condiciones de confort lumínico son favorables, aunque se registra poco uniformidad: en zonas alejadas de los aventanamientos los niveles de iluminancia son bajos y muy altos cerca de las ventanas. La mayor parte de los estudiantes (66% a 76%) considera que la iluminación es adecuada. Un 50% de los alumnos manifiestan molestias por reflejos molestos. Es necesario utilizar luz artificial con cierta frecuencia. Se requiere de un diseño específico del sistema de aventanamiento, incorporando mayor protección solar en fachada norte, para mejorar el sistema de la iluminación natural bilateral.

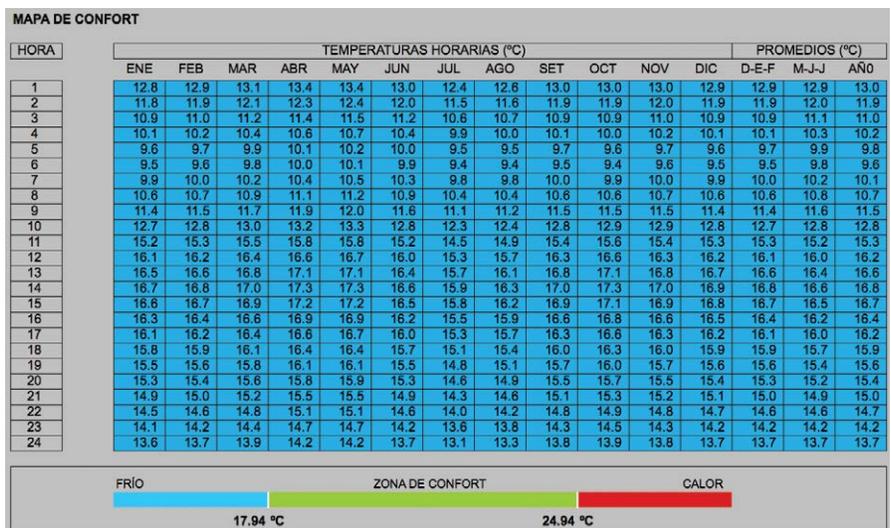
Debido a la necesidad de contar con ventilación permanente, a una población escolar grande y a la cercanía entre las aulas, gran parte de los encuestados (85% a 98%) advierte la existencia de ruidos molestos. Los niveles de sonido registrados exceden los valores considerados aceptables por la normativa. Se requiere mejorar el aislamiento acústico del aula, tratar los cielorrasos con materiales absorbentes y ventilar preferentemente por sistemas que minimicen el ingreso de ruidos aéreos.

En cuanto a la calidad del aire, los registros de concentración de CO<sub>2</sub> describen valores admisibles en ambos establecimientos; no obstante, en el caso de Pereira, los alumnos acusan pronunciadamente que el aire está viciado (46% a 86%), quizás por exceso de humedad u olores ocasionados por la ocupación.

### Clima templado frío con necesidad de calefacción. (Ipiales, Soacha)

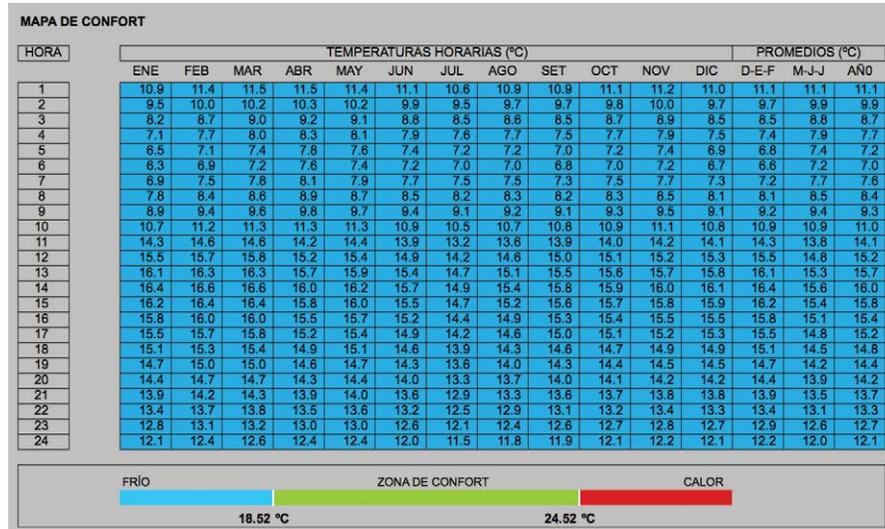
El municipio de Ipiales, situado a 2898 m SNM, presenta un clima tropical de alta montaña, el cual posee una temperatura estable con mínima fluctuación y alta humedad relativa durante todo el año. La situación intertropical no genera grandes variaciones en las temperaturas promedios mensuales, que no sobrepasa los 5°C. La temperatura media oscila entre los 12°C y 17°C. Es de destacar la presencia de brisas de valle y montaña. Se trata de un bloque edilicio conformado por agrupamiento de aulas con circulaciones en galería hacia el Norte, apiladas en dos niveles. Cubierta liviana y tecnología semipesada, aulas con iluminación bilateral simétrica en fachadas opuestas, con orientación al Norte-Sur. Ambas carpinterías

GRÁFICA 74.  
Institución educativa Seminario. Ciudad de Ipiales. Clima templado húmedo.



GRÁFICA 75.

Institución educativa Soacha para vivir mejor. Ciudad de Soacha. Clima templado.



integran módulos superiores de rejas para ventilación cruzada permanente.

Las condiciones de Soacha, situada a 2565m SNM, son estables con clima templado. La temperatura media anual es de 13,5°C, por lo que se requiere calentamiento del aire todo el año. Se trata de un complejo escolar de grandes dimensiones, “una ciudadela”, conformada por un bloque de planta semicircular de aulas en batería con circulaciones en galería hacia el Sur, apiladas en dos niveles, cubierta liviana. Aulas con iluminación bilateral asimétricas en fachadas opuestas con orientación principal al Norte sin protección y complemento cenital al Este.

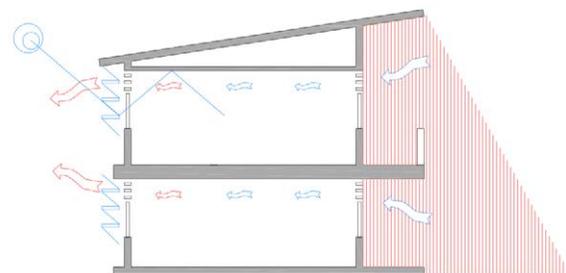
**Ipiales**

Durante el período de medición, las aulas no cumplen con las condiciones de confort térmico, ya que se registran valores por debajo de los 18°C. Los indicadores de opinión señalan que entre un 28% y 42% de los alumnos manifiestan estar en disconfort térmico. No obstante solo un 3% está abrigado y una parte significativa dice que transpira (35% a 62%), lo que pone en evidencia el grado de acostumbramiento a estas

condiciones desfavorables. Se requiere: a) incorporar calentamiento de aire, que podría ser resuelto con sistemas solares pasivos (invernaderos, MAC, fachadas colectoras), y b) aislamiento térmico de la envolvente edilicia, en cuyo caso habría que cuestionar la falta de un sistema de regulación de las rejas de ventilación. En este caso, también se deberán implementar estrategias de ventilación en determinadas épocas del año.

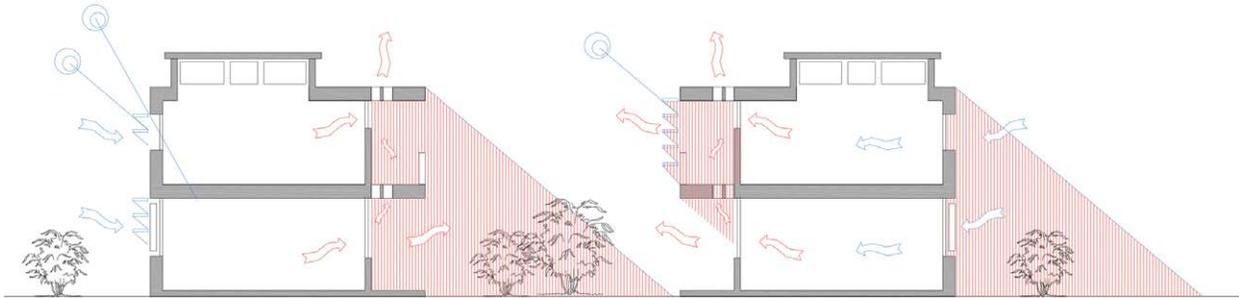
GRÁFICA 76.

Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Ipiales



GRÁFICA 77.

## Calentamiento de aire por sistemas pasivos. Soacha



## Soacha

Debido a las condiciones medias anuales de temperatura y HR, se requiere incorporar calentamiento de aire, que bien puede realizarse con el aprovechamiento de la energía solar (MAC, invernaderos, etc.) y aislamiento térmico de la envolvente edilicia. Durante el período lluvioso, los registros de temperatura y humedad obtenidos en las aulas auditadas cumplen con las condiciones de confort, por encima de los 18°C, y con humedades relativas dentro del rango de confort. No obstante, una cuarta parte de los alumnos manifiestan sentirse en discomfort, entre un 16% a 29% están abrigados y entre un 42% a 54% transpiran. Es destacable en este caso la diferencia de temperatura y humedad registrada entre aulas con orientación Norte y Oeste (1,5°C) y casi 10% de diferencia en los registros de HR.

Los niveles lumínicos registrados son aceptables; no obstante, los máximos son excesivos, lo que implica la necesidad de controlar la incidencia de la radiación solar directa sobre el plano de trabajo. El porcentaje de alumnos que manifiesta estar en confort lumínico es superior al 75%, lo que evidencia un alto grado de acostumbramiento a estas condiciones. Es necesaria una mejora del diseño de las fachadas orientadas al Sur con el objeto de: a) cumplir con las necesidades de captación de la radiación del sol

para calentamiento; b) evitar el acceso directo de la radiación solar sobre plano de trabajo; y c) distribuir la iluminación exterior en todo el aula, para tender a eliminar o disminuir el uso de iluminación artificial.

En el aspecto acústico, los niveles de sonido registrados exceden los admisibles, y el porcentaje de alumnos que manifiestan sensación de discomfort es muy alto (89% a 94 %). Los motivos principales deben buscarse en: a) la deficiente aislación acústica del local en relación a la cercanía de circulaciones y patio cubierto, frente a la superpoblación que presenta este tipo de complejos escolares; y b) la falta de tratamiento del campo acústico interior. Se requiere el tratamiento de los paramentos interiores de las aulas, para reducir tiempos de reverberación, y mejorar el aislamiento acústico para evitar la entrada de ruidos aéreos.

En Ipiales, la concentración de CO<sub>2</sub> se registra en valores admisibles; no obstante, un 36% de alumnos percibe aire viciado, seguramente debido a la humedad, el frío y los olores generados por la ocupación. En el caso de Soacha, se registran problemas de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire y, consecuentemente, una gran parte de los usuarios tiene conciencia de que es necesario ventilar el aula para sentirse en confort (62% a 65%).

### COSTA RICA (CR)

Las localizaciones estudiadas en estaciones seca y lluviosa corresponden a:

#### Clima cálido húmedo

- Zona de vida: Bosque húmedo premontano (transición a basal). Escuela de Bebedero. Cantón: Cañas. Provincia de Guanacaste.
- Zona de vida: Bosque húmedo tropical (transición a prehúmedo). Escuela de Parrita N° 3755. Cantón: Parrita. Provincia de Punta Arenas.
- Zona de vida: Bosque muy húmedo (premontano, transición a basal). Escuela Luzon N° 3376. Cantón: Matina. Provincia de Limón.
- Zona de vida: Bosque húmedo tropical (transición a premontano). Escuela Líder El Carmen N° 2605. Cantón Tilarán. Provincia de Guanacaste.

#### Clima templado húmedo

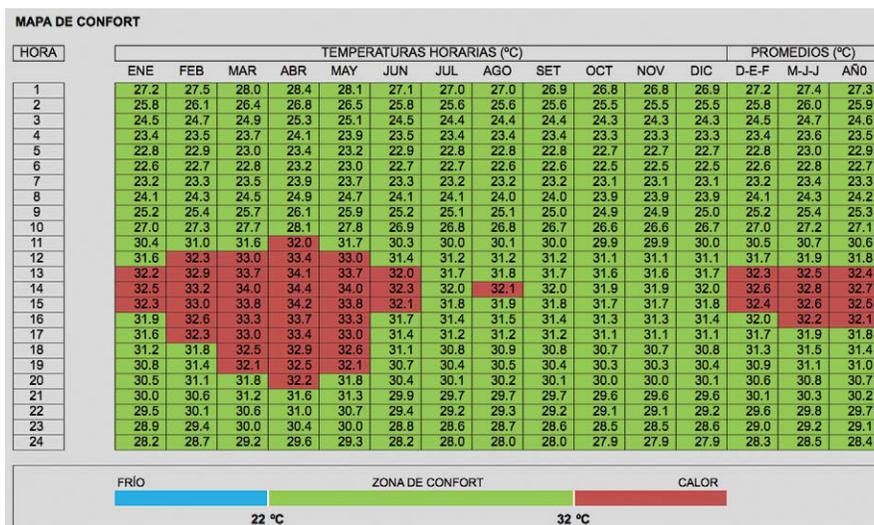
- Zona de vida: Bosque muy húmedo. Escuela de Poasito N° 1137. Cantón de Alajuela. Provincia de Alajuela.
- Zona de vida: Bosque húmedo premontano. Escuela Rep. de Panamá. Cantón: Desamparados. Provincia de San José.

### Clima calido húmedo con necesidad de sombreado + ventilación natural. (Bebedero, Parrita, Luzón, El Carmen)

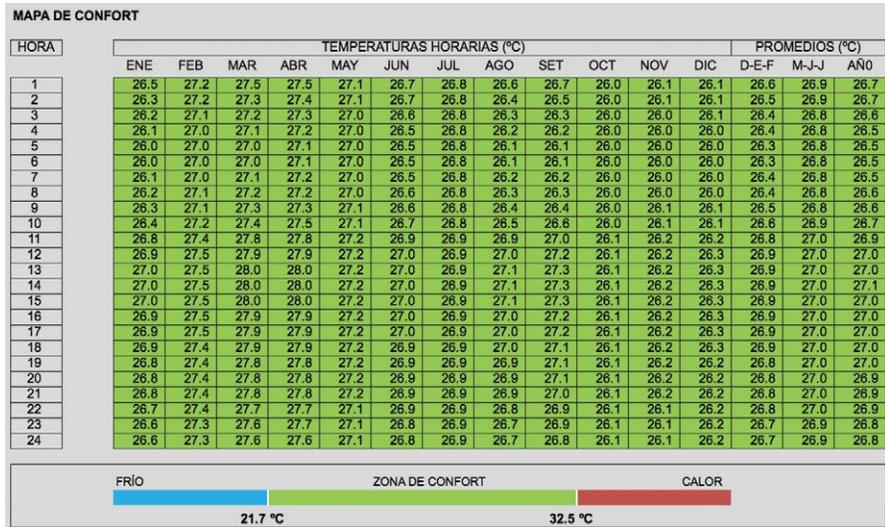
Situado en un área inundable, levantado un metro sobre el terreno natural, con una altura SNM de 15m (Z.V: bosque húmedo). Compuesto por dos pabellones organizados en una crujía con circulaciones cubiertas y aulas orientadas al Norte. El clima posee dos estaciones marcadas, en las que, de diciembre a abril, el índice pluviométrico es de 25mm y, en octubre, de 350mm. La temperatura mínima se registra en octubre y noviembre con 22,5°C y en abril 34,4°C, con una media anual de 28,5°C. La humedad relativa media anual es de 70,5%. La construcción está resuelta con un sistema prefabricado liviano, con cubiertas en pendiente, donde estas podían ser resueltas como "techos de sombra", lo que favorecería la ventilación natural y evitaría sobrecalentamiento de los espacios.

Localizada a 10m SNM, se caracteriza por dos estaciones muy marcadas: seca, de enero a marzo; muy lluviosa, de mayo a noviembre; y meses de transición, mayo y diciembre, con una precipitación media anual de 500mm. La temperatura máxima se registra

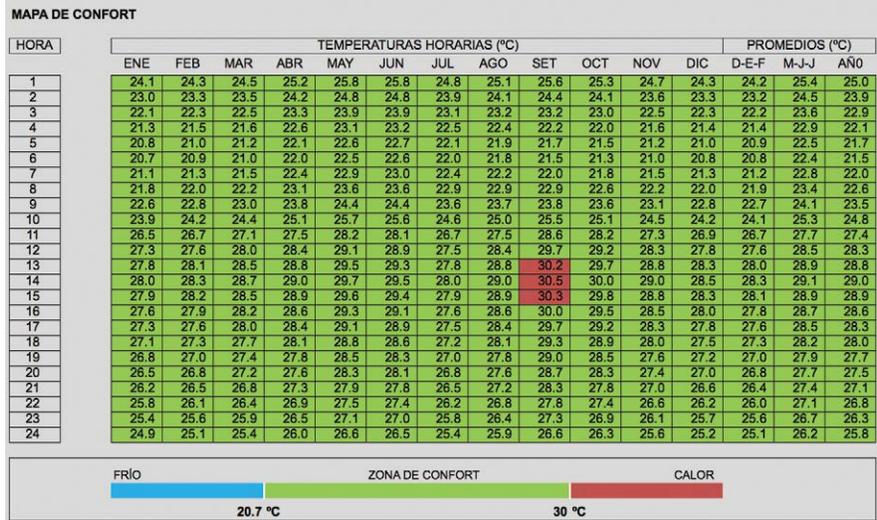
GRÁFICA 78. Escuela de Bebedero. Clima cálido húmedo



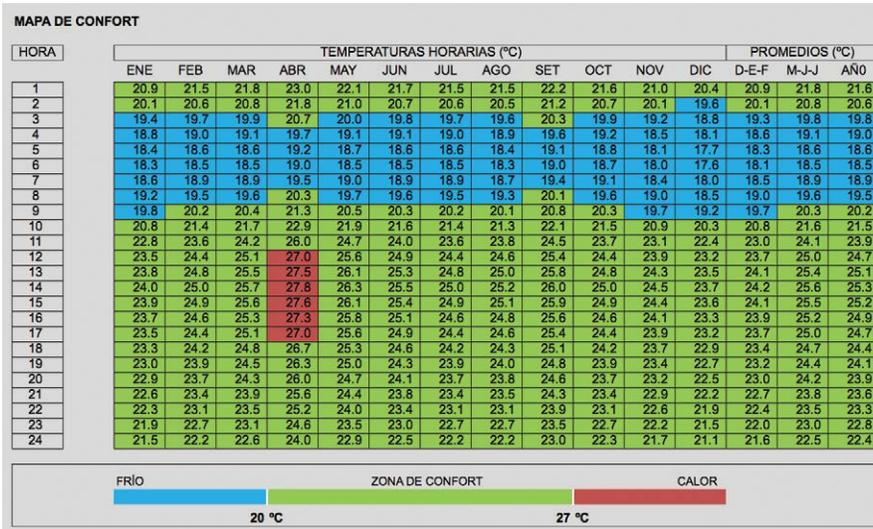
GRÁFICA 79.  
Escuela de Parrita. Clima cálido húmedo



GRÁFICA 80.  
Escuela de Luzón. Clima cálido húmedo



GRÁFICA 81.  
Escuela El Carmen. Clima cálido húmedo



en marzo con 32,5°C y la mínima en enero con 21,7°C y una media anual de 27,1°C. La HR media anual es de 85%, lo que presupone que el aire se satura en la madrugada (Z.V.: bosque húmedo tropical). El edificio está compuesto por tres partes diferenciadas —sector deportivo, área administrativa y vestíbulo— y dos pisos de aulas, en torno a un patio central. La construcción de las aulas es de concreto colado y bloques; el resto, de un sistema prefabricado.

Los mayores niveles pluviométricos se localizan en los meses de julio y diciembre con 450mm, y una precipitación media anual de 300mm, no registrándose estación seca. La temperatura oscila entre 20,7°C y 30,4°C, con una media anual de 25,5°C y una HR media anual de 87,5%, lo que hace que el clima de Luzón sea verdaderamente muy poco confortable, debido a que el sistema de termorregulación del cuerpo, mediante la evapotranspiración, se encuentra limitado por la alta HR (Z.V.: bosque muy húmedo). El

edificio se localiza en una zona rural, a 15m SNM. Su organización se resuelve con dos pabellones paralelos de simple crujía, con circulaciones abiertas y aulas orientadas al Norte, con un patio entre ambos. Construido con baldosas prefabricadas y cubierta metálica a dos aguas.

La localización es semirural a 530m SNM. Su organización define un patio central a partir de un pabellón de aulas en simple crujía, de una sola planta, con sector administrativo y espacio preescolar. La construcción está realizada por bloques de concreto, cubierta metálica a dos aguas y circulaciones abiertas en galería. El período lluvioso ocurre entre mayo y diciembre con niveles máximos de 300mm, con característica de una garúa constante y fuertes vientos. La temperatura oscila entre 18,3°C y 27,8°C con una media anual de 24,5°C. Las mañanas son frescas, por debajo del RCL. La HR media anual es de 83% (Z.V.: bosque húmedo tropical).

### **Clima templado húmedo con necesidad de sombreado + ventilación natural. (Poasito, Panamá)**

El clima reporta dos estaciones, con poca precipitación en los meses de enero a abril, y mayor entre mayo a noviembre (500mm), con una media anual de 250mm. La temperatura oscila entre 12,1°C y 22,5°C, con una variación anual de 10°C y una media anual de 17,4°C. La humedad relativa (HR) media anual es de 85%. (Z.V.: bosque muy húmedo). La escuela está situada a 1990 metros sobre el nivel del mar (SNM) y se compone de un conjunto edilicio en pabellones que acompañan en forma paralela a la pendiente del terreno, comunicados entre sí por circulaciones semicubiertas. Rampas y escaleras salvan la diferencia de niveles. Las cubiertas están resueltas con dos pendientes, para favorecer la evacuación de agua de lluvia, pero se debe tener en cuenta que este componente requiere la incorporación de aislación térmica para evitar ganancias en el período cálido y pérdidas en el frío.

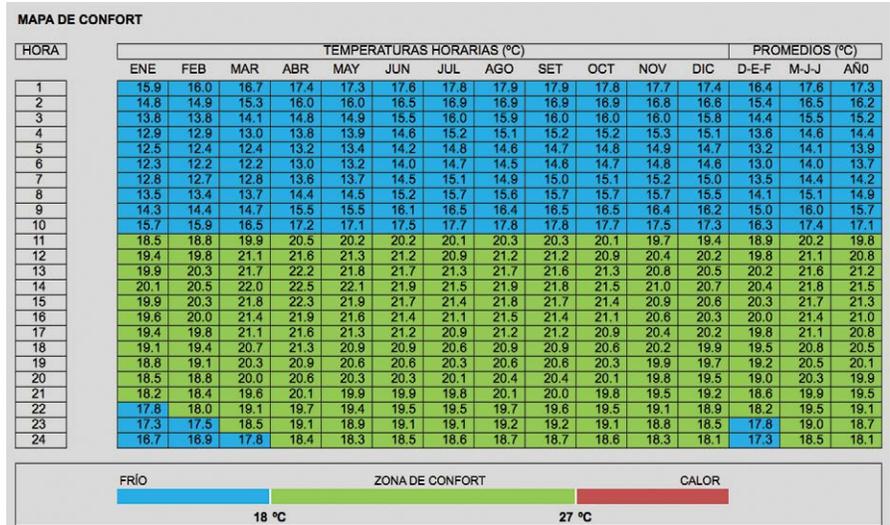
El conjunto edilicio se localiza en un medio urbano, a 1166m SNM. Su organización es mixta, asociando tiras de aulas y dejando entre ellas patios intersticiales y uno central, con orientación de sus aulas al Norte. Construido con bloques de concreto, forros de láminas metálicas onduladas y baldosas prefabricadas. En cuanto al clima, la variación de la temperatura es de 15°C a 25°C, con una media anual de 20°C. Máximas en las tardes en el mes de abril y mínimas en la madrugada de los meses de enero y febrero y HR del 80% (Z.V.: bosque húmedo). En cuanto a la precipitación, la estación seca se ubica entre los meses de diciembre y abril y la lluviosa entre mayo y octubre, con niveles máximos de 300mm mensuales.

Costa Rica se caracteriza por tener un clima con alta temperatura y humedad relativa, y el año se divide en dos períodos, uno seco y otro lluvioso y prolongado, lo que imprime una situación higrotérmica

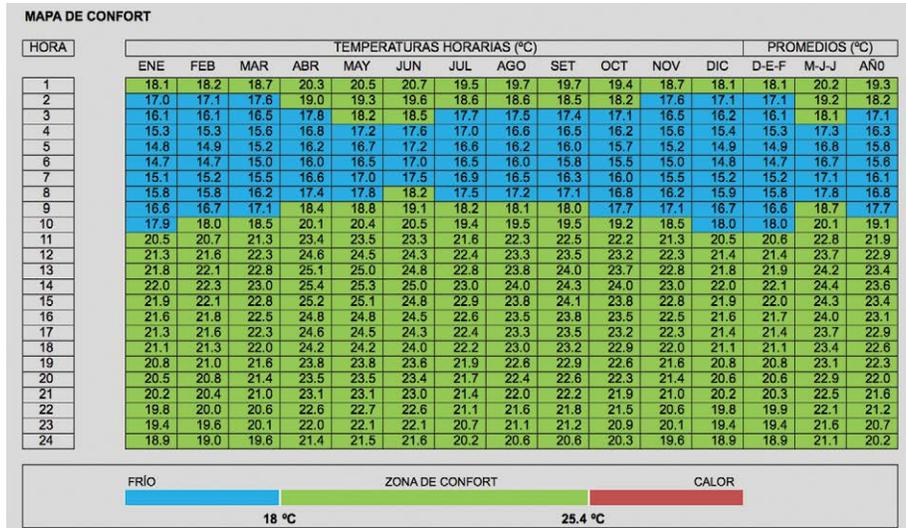
rigurosa. Las aulas auditadas presentan condiciones dentro de la zona de confort térmico según RCL, el cual, en esta latitud, refleja el acostumbramiento del cuerpo a estas condiciones ambientales extremas. En todas las aulas analizadas, los registros de temperatura interior han sido superiores a la exterior, debido a la carga térmica edilicia y a las ganancias internas por radiación solar y por ocupación. Las temperaturas interiores se registraron fuera del rango de confort en Bebedero (35°C) y Parrita (33°C), en climas cálidos húmedos. En tanto en clima templado, Poasito registra temperaturas de alrededor de 18°C y alto contenido de HR (82% a 95%), ambos fuera de confort local. En este caso particular, se deberían aprovechar las condiciones microclimáticas para elevar la temperatura interior del aula en las horas de la mañana.

Prácticamente, la totalidad de los alumnos se viste con ropa muy liviana y liviana, y en su mayoría manifiestan que se encuentran en confort térmico (67% a 99%), y similar porcentaje manifiesta que transpira dentro el aula (50% a 100%), lo que implica que los alumnos son conscientes de las condiciones desfavorables en las que se encuentran. En todos los casos, se requiere de estrategias de sombreado, tanto de superficies exteriores como de la envolvente edilicia, así como eliminar la posibilidad de acceso de la radiación al interior de los recintos por las ventanas. La cubierta se transforma en uno de los componentes arquitectónicos con mayor importancia en cuanto a su diseño, ya que es un elemento de protección no solo hidráulica, sino fundamentalmente térmica. Este puede resolverse como un "techo de sombra", el cual además debe contribuir a mejorar la ventilación natural, acelerando las corrientes y favoreciendo la extracción de aire interior (saturado de temperatura y humedad). En climas templados y cálidos como los tratados, es aconsejable materializar edificios utilizando tecnología liviana, con poca inercia térmica. Es importante además la incorporación de aislación térmica en toda superficie expuesta a la radiación solar.

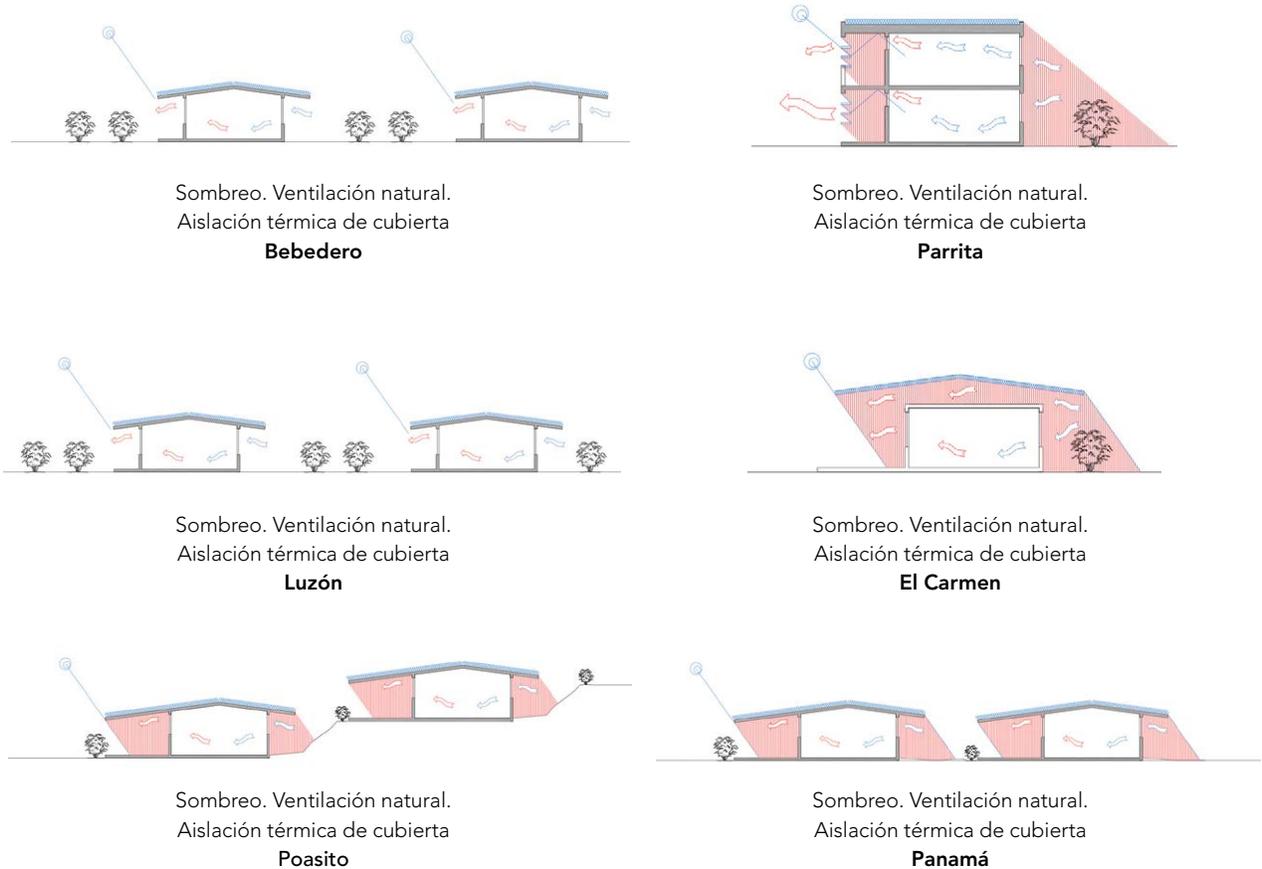
GRÁFICA 82.  
Escuela de Posito. Clima templado húmedo



GRÁFICA 83.  
Escuela de Panamá. Clima templado húmedo



GRÁFICA 84.  
Pautas de diseño



Se advierte disparidad en las iluminancias promedio en cada una de las aulas y localizaciones estudiadas. En cuanto a la iluminancia natural, los promedios máximos se registran en clima templado (Panamá y Poasito), con máximas muy altas para la actividad y promedios mínimos en climas cálidos (El Carmen y Luzón), ambos fuera de la zona de confort. En los demás casos, los niveles lumínicos son aceptables. De todos modos, es evidente que la variable analizada se visualiza como crítica en un aula escolar por la dinámica de comportamiento del flujo luminoso que depende de: a) las condiciones de cielo; b) las características de los aventanamientos; y c) las cualidades de las superficies interiores del aula. Se debería proponer un diseño específico del área de aventanamiento con

el objeto de filtrar y/o difundir la radiación solar, para evitar la incidencia directa sobre el plano de trabajo, así como para favorecer la ventilación natural (cruzada). Se registran situaciones de baja uniformidad, debido a que las aulas son rectangulares en forma perpendicular a la fuente luminosa. Se requiere lograr una mejor distribución de la luz natural diseñando aventanamientos que produzcan mayor iluminancia y una distribución más homogénea en todo el local, optimizando su tamaño y la localización de las aberturas y, en lo posible, utilizando aventanamiento bilateral, para equilibrar máximos y mínimos. La mayoría de los alumnos manifiestan en forma concreta que se encuentran en confort lumínico (92% a 100%).

Desde el punto de vista acústico, los alumnos señalan mayoritariamente estar en disconfort (72% a 100%), lo que se vuelve una variable que hay que tener en cuenta, algo que se confirma en los registros medidos. Esta situación puede estar justificada por la falta de aislación acústica y tratamiento absorbente de superficies interiores.

Los indicadores de opinión confirman que un alto porcentaje de los alumnos perciben aire viciado (74% a 100%), lo cual encuentra justificación en las propiedades termodinámicas del aire exterior más que en el estado de confinamiento del aire interior. En el caso de la calidad del aire en cuanto a concentración de CO<sub>2</sub>, se registran en toda la muestra valores por debajo de los límites admisibles (490 ppm a 795ppm), debido a la ventilación permanente.

## CHILE (CL)

Las localizaciones estudiadas en invierno y verano corresponden a:

### Clima cálido seco

- Zona Norte desértica. Escuela Básica fronteriza. San Lorenzo de Tarapacá.

### Clima cálido húmedo

- Zona Norte Litoral. Escuela Educación Gral. Básica y Desarrollo Artístico. Violeta Parra. Iquique.

### Clima templado seco

- Zona Centro Interior. Escuela Malloco 664. Comuna de Peñaflor, Santiago de Chile.
- Zona Centro Interior. Colegio Likankura. Comuna de Peñalolén. Santiago de Chile.

### Clima muy frío

- Zona Sur Extremo. Colegio Patagonia. Ciudad de Punta Arenas.

## Clima cálido seco con necesidad de sombreado + ventilación + calefacción. (Tarapacá)

Se trata de una escuela fronteriza situada en una pequeña ciudad en medio del desierto, a 1350 m de altura, entre la cordillera y el mar. Las condiciones climáticas de Tarapacá corresponden a un clima cálido seco, con gran amplitud térmica entre el día y la noche (superior a 20°C), constante durante todo el año, con medias máximas relativamente bajas en verano y altas en invierno. Situada en un entorno con edificios dispersos, de baja altura y presencia de vientos intensos, de predominancia Oeste. Tipología de una sola planta, con aulas agrupadas por un patio cuadrangular con circulaciones exteriores protegidas del sol con pérgolas de lamas de madera. Tecnología constructiva semipesada y techo plano.

### Tarapacá

Debido a las temperaturas medias y medias bajas, con baja humedad relativa, se requiere aislación térmica de la envolvente tanto en invierno como en verano. En este caso, ha sido resuelta con tecnología de muros portantes, pisos de hormigón pulido y cerramientos de madera, que proporcionan aislación y cierta inercia térmica. Se requerirá, además, calentamiento de aire, el cual en esta latitud podría ser resuelto mediante sistemas solares pasivos (SSP), con fachadas colectoras (invernadero, MAC o colectores de aire) orientados al norte. En el caso particular de las aulas auditadas, presentan condiciones higrotérmicas que se encuentran por encima de los rangos de confort térmico prácticamente durante todo el año, alcanzado los 32°C y 42% de HR en verano. Esto puede suceder debido al sobrecalentamiento producido por el ingreso de aire caliente exterior o a través de los techos que son la única parte de la envolvente que no está sombreada. Debido a la alta radiación solar, se aconseja protección, ya sea mejorando su aislamiento térmico o incorporando "techos de sombra" ventilados. Frente al continuo sobrecalentamiento

GRÁFICA 85.

Escuela Básica fronteriza. San Lorenzo de Tarapacá. Clima cálido seco.

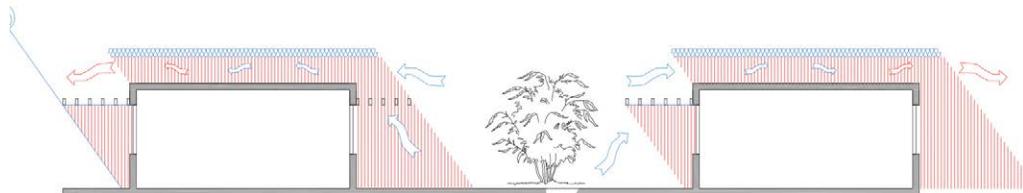
| MAPA DE CONFORT |      |                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |       |      |
|-----------------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-------|------|
| HORA            | COEF | TEMPERATURAS HORARIAS (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | PROMEDIOS (°C) |       |      |
|                 |      | ENE                        | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT  | NOV  | DIC  | D-E-F          | M-J-J | AÑO  |
| 1               | 0.46 | 13.8                       | 14.1 | 13.2 | 11.8 | 10.5 | 9.2  | 9.1  | 9.4  | 10.6 | 11.8 | 13.1 | 13.2 | 13.7           | 9.6   | 11.7 |
| 2               | 0.32 | 11.2                       | 11.5 | 10.5 | 8.9  | 7.5  | 6.3  | 6.1  | 6.3  | 7.5  | 8.7  | 10.0 | 10.3 | 11.0           | 6.6   | 8.7  |
| 3               | 0.19 | 8.7                        | 9.0  | 8.0  | 6.2  | 4.8  | 3.5  | 3.2  | 3.4  | 4.6  | 5.9  | 7.1  | 7.6  | 8.4            | 3.8   | 6.0  |
| 4               | 0.08 | 6.6                        | 7.0  | 5.9  | 3.9  | 2.4  | 1.2  | 0.8  | 0.9  | 2.2  | 3.5  | 4.6  | 5.3  | 6.3            | 1.5   | 3.7  |
| 5               | 0.02 | 5.5                        | 5.9  | 4.8  | 2.6  | 1.1  | -0.1 | -0.5 | -0.5 | 0.8  | 2.1  | 3.2  | 4.0  | 5.1            | 0.2   | 2.4  |
| 6               | 0.00 | 5.1                        | 5.5  | 4.4  | 2.2  | 0.7  | -0.5 | -0.9 | -0.9 | 0.4  | 1.7  | 2.8  | 3.6  | 4.7            | -0.2  | 2.0  |
| 7               | 0.06 | 6.2                        | 6.6  | 5.6  | 3.4  | 2.0  | 0.8  | 0.4  | 0.4  | 1.7  | 3.0  | 4.1  | 4.8  | 5.9            | 1.1   | 3.3  |
| 8               | 0.15 | 8.0                        | 8.3  | 7.3  | 5.3  | 3.9  | 2.7  | 2.4  | 2.5  | 3.7  | 5.0  | 6.2  | 6.7  | 7.7            | 3.0   | 5.2  |
| 9               | 0.26 | 10.0                       | 10.3 | 9.4  | 7.6  | 6.3  | 5.0  | 4.8  | 4.9  | 6.2  | 7.4  | 8.6  | 9.0  | 9.8            | 5.3   | 7.5  |
| 10              | 0.44 | 13.5                       | 13.7 | 12.8 | 11.4 | 10.1 | 8.8  | 8.7  | 9.0  | 10.2 | 11.4 | 12.7 | 12.8 | 13.3           | 9.2   | 11.2 |
| 11              | 0.79 | 20.1                       | 20.2 | 19.6 | 18.6 | 17.6 | 16.2 | 16.3 | 16.8 | 17.9 | 19.1 | 20.5 | 20.0 | 20.1           | 16.7  | 18.6 |
| 12              | 0.91 | 22.4                       | 22.4 | 21.9 | 21.1 | 20.2 | 18.7 | 18.9 | 19.5 | 20.6 | 21.7 | 23.2 | 22.5 | 22.4           | 19.3  | 21.1 |
| 13              | 0.97 | 23.5                       | 23.5 | 23.0 | 22.4 | 21.5 | 20.0 | 20.2 | 20.8 | 21.9 | 23.0 | 24.5 | 23.8 | 23.6           | 20.6  | 22.4 |
| 14              | 1.00 | 24.1                       | 24.1 | 23.6 | 23.0 | 22.1 | 20.6 | 20.9 | 21.5 | 22.6 | 23.7 | 25.2 | 24.4 | 24.2           | 21.2  | 23.0 |
| 15              | 0.98 | 23.7                       | 23.7 | 23.2 | 22.6 | 21.7 | 20.2 | 20.5 | 21.1 | 22.2 | 23.3 | 24.8 | 24.0 | 23.8           | 20.8  | 22.6 |
| 16              | 0.94 | 23.0                       | 23.0 | 22.4 | 21.8 | 20.8 | 19.3 | 19.6 | 20.2 | 21.3 | 22.4 | 23.9 | 23.2 | 23.0           | 19.9  | 21.7 |
| 17              | 0.91 | 22.4                       | 22.4 | 21.9 | 21.1 | 20.2 | 18.7 | 18.9 | 19.5 | 20.6 | 21.7 | 23.2 | 22.5 | 22.4           | 19.3  | 21.1 |
| 18              | 0.87 | 21.6                       | 21.7 | 21.1 | 20.3 | 19.3 | 17.9 | 18.1 | 18.6 | 19.7 | 20.8 | 22.3 | 21.7 | 21.7           | 18.4  | 20.3 |
| 19              | 0.83 | 20.9                       | 20.9 | 20.3 | 19.5 | 18.5 | 17.0 | 17.2 | 17.7 | 18.8 | 20.0 | 21.4 | 20.9 | 20.9           | 17.6  | 19.4 |
| 20              | 0.80 | 20.3                       | 20.4 | 19.8 | 18.8 | 17.8 | 16.4 | 16.5 | 17.0 | 18.2 | 19.3 | 20.7 | 20.2 | 20.3           | 16.9  | 18.8 |
| 21              | 0.75 | 19.4                       | 19.5 | 18.8 | 17.8 | 16.8 | 15.3 | 15.5 | 15.9 | 17.1 | 18.2 | 19.6 | 19.2 | 19.3           | 15.9  | 17.7 |
| 22              | 0.70 | 18.4                       | 18.5 | 17.8 | 16.8 | 15.7 | 14.3 | 14.4 | 14.8 | 15.9 | 17.1 | 18.5 | 18.2 | 18.4           | 14.8  | 16.7 |
| 23              | 0.64 | 17.3                       | 17.4 | 16.7 | 15.5 | 14.4 | 13.0 | 13.1 | 13.4 | 14.6 | 15.8 | 17.1 | 16.9 | 17.2           | 13.5  | 15.4 |
| 24              | 0.57 | 15.9                       | 16.1 | 15.3 | 14.1 | 12.9 | 11.5 | 11.5 | 11.9 | 13.1 | 14.2 | 15.6 | 15.5 | 15.8           | 12.0  | 14.0 |

|   |                |
|---|----------------|
| <span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> CONFORT | 20 a 24 °C     |
| <span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> FRÍO    | menos de 20 °C |
| <span style="background-color: #FF0000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> CALOR   | más de 24 °C   |

GRÁFICA 86.

Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Inercia térmica. Tarapacá



registrado, los alumnos manifiestan mayoritariamente estar en confort térmico (73% a 87%), lo cual refleja un alto grado de acostumbramiento o tolerancia a temperaturas extremas. En invierno, se mantiene la opinión favorable, pero la mayoría de los alumnos se encuentran abrigados (83% a 95%) y admiten que transpiran (86%).

A pesar de la presencia de cielos diáfanos, las condiciones lumínicas de las aulas son, en general, desfavorables debido a la existencia de una sola ventana

de reducidas dimensiones colocada centralmente en la pared, donde el espacio vidriado no guarda relaciones recomendadas con la superficie del aula. La iluminancia de las aulas es baja y poco uniforme y no cumple con rangos admisibles de confort; no obstante, una parte significativa de los alumnos no perciben este aspecto como negativo (50% a 78%). Se requiere lograr una mejor distribución de la luz natural, diseñando aventanamientos que produzcan mayor iluminancia y una distribución más homogénea en todo el local con lo cual optimizar el tamaño

y la localización de las aberturas, para evitar el acceso directo de la radiación solar y del aire caliente.

Desde el punto de vista acústico, los alumnos señalan mayoritariamente estar en disconfort, principalmente en el período invernal (75% a 67%). Debido a las características del entorno, se deduce que es por falta de tratamiento del campo acústico interior, en cuyo caso se deberían agregar superficies absorbentes en paredes o cielorrasos. Es de destacar que el invierno es la estación que muestra valores más desfavorablemente tanto en el aspecto acústico como en lo relacionado a la calidad del aire.

En el caso de la calidad del aire, una gran mayoría de los alumnos percibe aire viciado en invierno (71% a 83%), con registros que se encuentran dentro de los rangos admisibles de concentración de CO<sub>2</sub>. Por lo cual, la causa del problema puede ser debido al funcionamiento de equipos de calefacción, a la falta de humedad en el ambiente, a los olores generados por la ocupación, etc.

### **Clima cálido húmedo con necesidad de sombreado + ventilación + calefacción (Iquique)**

Se trata de una escuela urbana, localizada en zona desértica litoral con clima cálido húmedo, donde las temperaturas medias son muy altas en verano y templadas en invierno (en general muy homogéneas), y la humedad relativa es alta y constante durante todo el año. Altos valores radiación solar y vientos moderados predominantes de componente Sur y presencia de brisas de mar y tierra. Tipología de aulas con corredor cubierto exterior en torno a patios, apilamiento en tres plantas, construcción tradicional semipesado, aulas con aventanamiento bilateral en caras opuestas.

#### **Iquique**

Las condiciones higrotérmicas del aula se encuentran en confort térmico, pero con alto registro de humedad relativa; no obstante, más del 50% de los alumnos manifiesta estar en disconfort. Es de destacar que, en

el caso del aula orientada al Norte, esto se complementa con un porcentaje mayor al 70% de los alumnos que transpiran. La ventilación es insuficiente, ya que no permite eliminar el calor generado por ganancia directa. En los casos donde la fachada del aula está expuesta a la orientación Norte, se deberá incorporar estantes de luz o difusores para evitar ingreso de radiación directa. En caso de agrupamiento de aulas, se deberá tener especial cuidado en aquellas ubicadas en plantas superiores, donde habría que limitar las ganancias térmicas por techo mediante sombreado, ventilación o aislación térmica. Es necesario proponer estrategias de ventilación cruzada y/o ventilación selectiva nocturna, con el fin de aprovechar las brisas para eliminar la temperatura acumulada por la masa térmica durante el día, o ventilación stack, que permita alejar las bocas de evacuación de aire de las zonas ocupadas por los alumnos, para reducir de este modo la entrada de sonido desde galerías y patios. En el caso de requerir calentamiento de aire en el período invernal, se debe recurrir a la implementación de sistemas solares pasivos.

La presencia de cielos nubosos parecería justificar las condiciones lumínicas de las aulas que casi en ningún caso cumplen con los parámetros de diseño recomendados; no obstante, solo se percibe disconfort en las aulas con orientación Sur (50%), donde las ventanas tienen por única protección cortinas interiores livianas. Los niveles de iluminancia mínimos son muy bajos en los sectores más alejados del aventanamiento principal, con bajos coeficientes de uniformidad e incidencia de radiación solar directa sobre el plano de trabajo. Se requiere un diseño de las fachadas de las aulas que deberían orientarse plenas al norte solar, con incorporación de mecanismos para evitar ingresos de radiación directa, mejorar la distribución de la iluminancia interior y elevar sus niveles en las zonas más alejadas de las ventanas, utilizando por ejemplo estantes de luz o *brise-soleil*.

Los indicadores de opinión evidencian un alto porcentaje de disconfort respecto de la percepción de

GRÁFICA 87.

Escuela Educación Gral. Básica y Desarrollo Artístico, Violeta Parra. Iquique. Clima cálido húmedo.

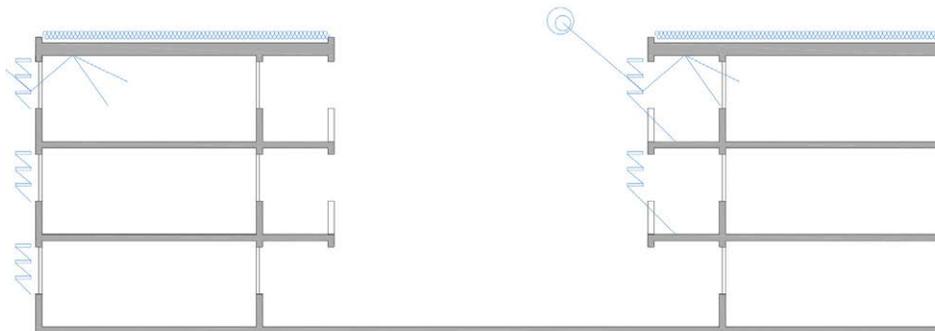
| MAPA DE CONFORT |      |                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |       |      |
|-----------------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-------|------|
| HORA            | COEF | TEMPERATURAS HORARIAS (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | PROMEDIOS (°C) |       |      |
|                 |      | ENE                        | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT  | NOV  | DIC  | D-E-F          | M-J-J | AÑO  |
| 1               | 0.46 | 21.0                       | 21.1 | 20.2 | 18.4 | 17.0 | 16.0 | 15.3 | 15.5 | 16.1 | 17.0 | 18.3 | 19.8 | 20.6           | 16.1  | 18.0 |
| 2               | 0.32 | 19.9                       | 20.1 | 19.2 | 17.4 | 16.1 | 15.2 | 14.7 | 14.8 | 15.4 | 16.2 | 17.4 | 18.8 | 19.6           | 15.3  | 17.1 |
| 3               | 0.19 | 19.0                       | 19.1 | 18.2 | 16.5 | 15.3 | 14.5 | 14.0 | 14.2 | 14.7 | 15.5 | 16.5 | 17.8 | 18.6           | 14.6  | 16.3 |
| 4               | 0.08 | 18.2                       | 18.2 | 17.4 | 15.7 | 14.6 | 13.9 | 13.5 | 13.7 | 14.2 | 14.9 | 15.8 | 17.1 | 17.8           | 14.0  | 15.6 |
| 5               | 0.02 | 17.7                       | 17.8 | 17.0 | 15.3 | 14.2 | 13.6 | 13.2 | 13.4 | 13.9 | 14.6 | 15.4 | 16.6 | 17.4           | 13.7  | 15.2 |
| 6               | 0.00 | 17.6                       | 17.6 | 16.8 | 15.1 | 14.1 | 13.5 | 13.1 | 13.3 | 13.8 | 14.5 | 15.3 | 16.5 | 17.2           | 13.6  | 15.1 |
| 7               | 0.06 | 18.0                       | 18.1 | 17.3 | 15.6 | 14.5 | 13.8 | 13.4 | 13.6 | 14.1 | 14.8 | 15.7 | 16.9 | 17.7           | 13.9  | 15.5 |
| 8               | 0.15 | 18.7                       | 18.8 | 17.9 | 16.2 | 15.0 | 14.3 | 13.9 | 14.0 | 14.5 | 15.3 | 16.3 | 17.6 | 18.3           | 14.4  | 16.0 |
| 9               | 0.28 | 19.5                       | 19.6 | 18.7 | 17.0 | 15.7 | 14.9 | 14.4 | 14.5 | 15.1 | 15.9 | 17.0 | 18.3 | 19.1           | 15.0  | 16.7 |
| 10              | 0.44 | 20.8                       | 21.0 | 20.0 | 18.3 | 16.8 | 15.9 | 15.3 | 15.4 | 16.0 | 16.9 | 18.1 | 19.6 | 20.5           | 16.0  | 17.8 |
| 11              | 0.79 | 23.4                       | 23.6 | 22.6 | 20.8 | 19.0 | 17.8 | 16.9 | 17.1 | 17.7 | 18.8 | 20.4 | 22.1 | 23.0           | 17.9  | 20.0 |
| 12              | 0.91 | 24.3                       | 24.5 | 23.5 | 21.6 | 19.8 | 18.5 | 17.5 | 17.7 | 18.3 | 19.5 | 21.2 | 22.9 | 23.9           | 18.6  | 20.8 |
| 13              | 0.97 | 24.7                       | 24.9 | 23.9 | 22.0 | 20.1 | 18.8 | 17.8 | 18.0 | 18.6 | 19.8 | 21.5 | 23.4 | 24.3           | 18.9  | 21.1 |
| 14              | 1.00 | 24.9                       | 25.2 | 24.1 | 22.3 | 20.3 | 19.0 | 18.0 | 18.1 | 18.8 | 20.0 | 21.7 | 23.6 | 24.6           | 19.1  | 21.3 |
| 15              | 0.98 | 24.8                       | 25.0 | 24.0 | 22.1 | 20.2 | 18.9 | 17.9 | 18.0 | 18.7 | 19.9 | 21.6 | 23.4 | 24.4           | 19.0  | 21.2 |
| 16              | 0.94 | 24.5                       | 24.7 | 23.7 | 21.8 | 20.0 | 18.7 | 17.7 | 17.8 | 18.5 | 19.7 | 21.4 | 23.2 | 24.1           | 18.8  | 21.0 |
| 17              | 0.91 | 24.3                       | 24.5 | 23.5 | 21.6 | 19.8 | 18.5 | 17.5 | 17.7 | 18.3 | 19.5 | 21.2 | 22.9 | 23.9           | 18.6  | 20.8 |
| 18              | 0.87 | 24.0                       | 24.2 | 23.2 | 21.3 | 19.5 | 18.3 | 17.3 | 17.5 | 18.1 | 19.3 | 20.9 | 22.7 | 23.6           | 18.4  | 20.5 |
| 19              | 0.83 | 23.7                       | 23.9 | 22.9 | 21.0 | 19.3 | 18.1 | 17.1 | 17.3 | 17.9 | 19.0 | 20.6 | 22.4 | 23.3           | 18.2  | 20.3 |
| 20              | 0.80 | 23.5                       | 23.7 | 22.7 | 20.8 | 19.1 | 17.9 | 17.0 | 17.1 | 17.8 | 18.9 | 20.5 | 22.2 | 23.1           | 18.0  | 20.1 |
| 21              | 0.75 | 23.1                       | 23.3 | 22.3 | 20.5 | 18.8 | 17.6 | 16.7 | 16.9 | 17.5 | 18.6 | 20.1 | 21.8 | 22.7           | 17.7  | 19.8 |
| 22              | 0.70 | 22.7                       | 22.9 | 21.9 | 20.1 | 18.5 | 17.3 | 16.5 | 16.7 | 17.3 | 18.3 | 19.8 | 21.5 | 22.4           | 17.4  | 19.5 |
| 23              | 0.64 | 22.3                       | 22.5 | 21.5 | 19.7 | 18.1 | 17.0 | 16.2 | 16.4 | 17.0 | 18.0 | 19.4 | 21.0 | 21.9           | 17.1  | 19.1 |
| 24              | 0.57 | 21.8                       | 21.9 | 21.0 | 19.2 | 17.6 | 16.6 | 15.9 | 16.0 | 16.6 | 17.6 | 19.0 | 20.5 | 21.4           | 16.7  | 18.7 |

|   |                |
|---|----------------|
| <span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> CONFORT | 20 a 24 °C     |
| <span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> FRÍO    | menos de 20 °C |
| <span style="background-color: #FF0000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> CALOR   | más de 24 °C   |

GRÁFICA 88.

Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Calefacción solar. Iquique



ruidos molestos (90% a 100%), seguramente producida por la falta de tratamiento acústico de las superficies interiores, sumado a la necesidad de ventilación que genera una pérdida de hermeticidad del local aislado acústicamente. Respecto de la mejora de la calidad acústica del aula, se deberían proponer muros de fondo o cielorrasos con absorción acústica. Asimismo, ventilar preferentemente por sistemas que minimicen el ingreso de ruido aéreo, alejando las aberturas o rejillas de ventilación de las fuentes sonoras.

Aunque los valores de concentración CO<sub>2</sub> se han registrado dentro de los niveles normativos admisibles (a excepción del caso aula sur en invierno), los indicadores de opinión evidencian un alto porcentaje de disconfort respecto de la percepción (60% a 87%). Posiblemente el alto contenido de humedad en el aire sea el motivo que justifique esta situación.

### Clima templado seco con necesidad de sombreado + ventilación + calefacción (Peñaflor, Peñalolén)

Las condiciones climáticas de Peñaflor corresponden a un clima templado seco, con gran amplitud térmica. En verano, la oscilación de temperatura entre el día y la noche es mayor a 17°C, y disminuye en invierno. Baja humedad relativa en verano con tendencia al alza en invierno. Alta radiación solar en verano y baja en invierno, con vientos moderados de predominancia Suroeste, con calma en verano. La situación higrótérmica anual requiere calefacción en el período invernal, y ventilación cruzada y control solar, en el período estival. Se trata de una tipología de aulas en batería con corredor cubierto exterior que se brinda hacia patio, apilamiento en dos plantas, construcción tradicional semipesada, localizada en un entorno urbano. Las aulas analizadas poseen aventanamiento bilateral en caras opuestas.

Las condiciones climáticas de Peñalolén corresponden a un clima templado seco, con gran amplitud térmica. La oscilación de temperatura entre el día y la noche es importante en verano (mayor a 17°C) y

disminuye en invierno (aproximadamente 11°C), con altos valores de radiación solar en verano y baja en invierno. Presenta baja humedad relativa en verano con tendencia al alza en invierno. Vientos moderados de predominancia Suroeste, con calma en verano. La situación higrótérmica anual requiere calefacción en el período invernal, y ventilación cruzada y control solar en el período estival. Tipología de aulas en batería con corredor cubierto exterior que da hacia patio, apilamiento en tres plantas, construcción tradicional semipesada, aulas con aventanamiento bilateral en caras adyacentes.

### Peñaflor

En el período invernal, las condiciones higrótérmicas del aula se encuentran muy por debajo de los rangos de confort admisibles, con bajas temperaturas y altos porcentajes de humedad relativa (12°C, 90% HR). Existe una marcada sensación de disconfort térmico, que varía entre 50% de alumnos en aula Sur y 85% en aula Norte. Los altos porcentajes de HR registrados hacen que entre un 40% y 50 % de los alumnos transpiren, lo cual puede contribuir a esta opinión. Se requiere calentamiento de aire en época invernal, que puede ser resuelto por incorporación de sistemas

GRÁFICA 89. Escuela Malloco 664. Comuna de Peñaflor. Clima templado seco.

| MAPA DE CONFORT |      |                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |       |      |
|-----------------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-------|------|
| HORA            | COEF | TEMPERATURAS HORARIAS (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | PROMEDIOS (°C) |       |      |
|                 |      | ENE                        | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT  | NOV  | DIC  | D-E-F          | M-J-J | AÑO  |
| 1               | 0.46 | 20.5                       | 19.9 | 18.1 | 14.8 | 11.8 | 9.1  | 8.8  | 10.1 | 11.9 | 14.6 | 17.0 | 19.4 | 19.9           | 9.9   | 14.7 |
| 2               | 0.32 | 18.2                       | 17.6 | 15.9 | 12.8 | 10.1 | 7.6  | 7.3  | 8.4  | 10.1 | 12.6 | 14.8 | 17.1 | 17.7           | 8.3   | 12.7 |
| 3               | 0.19 | 16.1                       | 15.5 | 13.8 | 10.9 | 8.5  | 6.2  | 5.9  | 6.9  | 8.5  | 10.8 | 12.9 | 15.0 | 15.5           | 6.9   | 10.9 |
| 4               | 0.08 | 14.3                       | 13.7 | 12.1 | 9.3  | 7.2  | 5.0  | 4.7  | 5.6  | 7.1  | 9.3  | 11.2 | 13.3 | 13.8           | 5.6   | 9.4  |
| 5               | 0.02 | 13.3                       | 12.8 | 11.1 | 8.4  | 6.5  | 4.4  | 4.0  | 4.9  | 6.3  | 8.4  | 10.3 | 12.3 | 12.8           | 5.0   | 8.6  |
| 6               | 0.00 | 12.9                       | 12.4 | 10.8 | 8.1  | 6.2  | 4.2  | 3.8  | 4.7  | 6.1  | 8.1  | 10.0 | 12.0 | 12.5           | 4.7   | 8.3  |
| 7               | 0.06 | 13.9                       | 13.4 | 11.8 | 9.0  | 7.0  | 4.8  | 4.4  | 5.4  | 6.8  | 9.0  | 10.9 | 13.0 | 13.4           | 5.4   | 9.1  |
| 8               | 0.15 | 15.4                       | 14.9 | 13.2 | 10.3 | 8.1  | 5.8  | 5.4  | 6.4  | 8.0  | 10.2 | 12.3 | 14.4 | 14.9           | 6.4   | 10.4 |
| 9               | 0.26 | 17.2                       | 16.7 | 15.0 | 11.9 | 9.4  | 7.0  | 6.6  | 7.7  | 9.4  | 11.8 | 13.9 | 16.2 | 16.7           | 7.7   | 11.9 |
| 10              | 0.44 | 20.2                       | 19.6 | 17.8 | 14.5 | 11.8 | 8.9  | 8.6  | 9.8  | 11.7 | 14.3 | 16.7 | 19.1 | 19.6           | 9.7   | 14.4 |
| 11              | 0.79 | 25.9                       | 25.3 | 23.4 | 19.6 | 15.8 | 12.7 | 12.4 | 13.9 | 16.1 | 19.2 | 21.9 | 24.7 | 25.3           | 13.7  | 19.2 |
| 12              | 0.91 | 27.9                       | 27.2 | 25.3 | 21.3 | 17.3 | 14.0 | 13.8 | 15.3 | 17.6 | 20.8 | 23.7 | 26.6 | 27.3           | 15.0  | 20.9 |
| 13              | 0.97 | 28.9                       | 28.2 | 26.3 | 22.2 | 18.0 | 14.7 | 14.4 | 16.0 | 18.4 | 21.7 | 24.6 | 27.6 | 28.2           | 15.7  | 21.7 |
| 14              | 1.00 | 29.4                       | 28.7 | 26.7 | 22.6 | 18.4 | 15.0 | 14.8 | 16.4 | 18.8 | 22.1 | 25.1 | 28.1 | 28.7           | 16.0  | 22.2 |
| 15              | 0.98 | 29.0                       | 28.4 | 26.4 | 22.3 | 18.1 | 14.8 | 14.5 | 16.1 | 18.5 | 21.8 | 24.8 | 27.8 | 28.4           | 15.8  | 21.9 |
| 16              | 0.94 | 28.4                       | 27.7 | 25.8 | 21.8 | 17.6 | 14.3 | 14.1 | 15.7 | 18.0 | 21.2 | 24.2 | 27.1 | 27.7           | 15.4  | 21.3 |
| 17              | 0.91 | 27.9                       | 27.2 | 25.3 | 21.3 | 17.3 | 14.0 | 13.8 | 15.3 | 17.6 | 20.8 | 23.7 | 26.6 | 27.3           | 15.0  | 20.9 |
| 18              | 0.87 | 27.2                       | 26.6 | 24.7 | 20.8 | 16.8 | 13.6 | 13.3 | 14.8 | 17.1 | 20.3 | 23.1 | 26.0 | 26.6           | 14.6  | 20.4 |
| 19              | 0.83 | 26.6                       | 25.9 | 24.0 | 20.2 | 16.3 | 13.2 | 12.9 | 14.4 | 16.6 | 19.7 | 22.5 | 25.4 | 26.0           | 14.1  | 19.8 |
| 20              | 0.80 | 26.1                       | 25.4 | 23.6 | 19.7 | 15.9 | 12.8 | 12.6 | 14.0 | 16.2 | 19.3 | 22.1 | 24.9 | 25.5           | 13.8  | 19.4 |
| 21              | 0.75 | 25.3                       | 24.6 | 22.8 | 19.0 | 15.3 | 12.3 | 12.0 | 13.4 | 15.6 | 18.6 | 21.3 | 24.1 | 24.7           | 13.2  | 18.7 |
| 22              | 0.70 | 24.4                       | 23.8 | 22.0 | 18.3 | 14.7 | 11.7 | 11.5 | 12.9 | 15.0 | 17.9 | 20.6 | 23.3 | 23.8           | 12.6  | 18.0 |
| 23              | 0.64 | 23.5                       | 22.8 | 21.0 | 17.4 | 14.0 | 11.1 | 10.8 | 12.2 | 14.2 | 17.1 | 19.7 | 22.3 | 22.9           | 12.0  | 17.2 |
| 24              | 0.57 | 22.3                       | 21.7 | 19.9 | 16.4 | 13.1 | 10.3 | 10.0 | 11.3 | 13.3 | 16.1 | 18.6 | 21.2 | 21.7           | 11.2  | 16.2 |

|   |                |
|---|----------------|
| <span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> CONFORT | 20 a 24 °C     |
| <span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> FRÍO    | menos de 20 °C |
| <span style="background-color: #FF6347; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> CALOR   | más de 24 °C   |

## GRÁFICA 90.

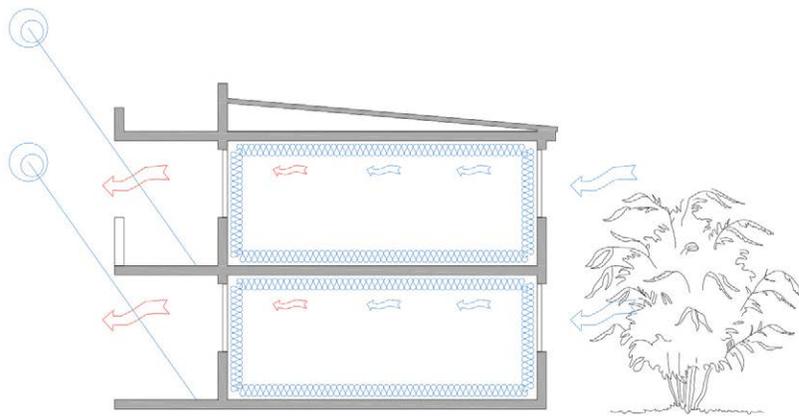
Colegio Likankura. Comuna de Peñalolén. Santiago de Chile.  
Clima templado seco.

| MAPA DE CONFORT |      |                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |       |      |
|-----------------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-------|------|
| HORA            | COEF | TEMPERATURAS HORARIAS (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | PROMEDIOS (°C) |       |      |
|                 |      | ENE                        | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT  | NOV  | DIC  | D-E-F          | M-J-J | AÑO  |
| 1               | 0.46 | 20.7                       | 20.1 | 18.2 | 15.0 | 12.0 | 9.3  | 9.0  | 10.3 | 12.0 | 14.7 | 17.1 | 19.5 | 20.1           | 10.1  | 14.8 |
| 2               | 0.32 | 18.3                       | 17.7 | 15.9 | 12.9 | 10.3 | 7.8  | 7.4  | 8.6  | 10.2 | 12.7 | 15.0 | 17.2 | 17.8           | 8.5   | 12.8 |
| 3               | 0.19 | 16.2                       | 15.6 | 13.8 | 10.9 | 8.7  | 6.4  | 6.0  | 7.1  | 8.6  | 10.9 | 13.0 | 15.1 | 15.6           | 7.0   | 11.0 |
| 4               | 0.08 | 14.3                       | 13.7 | 12.0 | 9.2  | 7.3  | 5.2  | 4.8  | 5.8  | 7.1  | 9.3  | 11.3 | 13.3 | 13.8           | 5.7   | 9.4  |
| 5               | 0.02 | 13.3                       | 12.7 | 11.0 | 8.3  | 6.5  | 4.5  | 4.1  | 5.0  | 6.4  | 8.5  | 10.4 | 12.3 | 12.8           | 5.1   | 8.6  |
| 6               | 0.00 | 13.0                       | 12.4 | 10.7 | 8.0  | 6.3  | 4.3  | 3.9  | 4.8  | 6.1  | 8.2  | 10.1 | 12.0 | 12.5           | 4.8   | 8.3  |
| 7               | 0.06 | 14.0                       | 13.4 | 11.7 | 8.9  | 7.0  | 5.0  | 4.6  | 5.5  | 6.9  | 9.0  | 11.0 | 13.0 | 13.5           | 5.5   | 9.2  |
| 8               | 0.15 | 15.5                       | 14.9 | 13.1 | 10.3 | 8.2  | 5.9  | 5.6  | 6.6  | 8.0  | 10.3 | 12.4 | 14.5 | 15.0           | 6.5   | 10.4 |
| 9               | 0.26 | 17.3                       | 16.7 | 14.9 | 12.0 | 9.5  | 7.1  | 6.8  | 7.9  | 9.5  | 11.9 | 14.1 | 16.3 | 16.8           | 7.8   | 12.0 |
| 10              | 0.44 | 20.3                       | 19.7 | 17.8 | 14.7 | 11.8 | 9.1  | 8.7  | 10.0 | 11.8 | 14.4 | 16.8 | 19.2 | 19.8           | 9.9   | 14.5 |
| 11              | 0.79 | 26.2                       | 25.6 | 23.5 | 20.1 | 16.1 | 12.9 | 12.6 | 14.2 | 16.3 | 19.3 | 22.2 | 25.0 | 25.6           | 13.9  | 19.5 |
| 12              | 0.91 | 28.2                       | 27.6 | 25.4 | 21.9 | 17.6 | 14.2 | 13.9 | 15.6 | 17.8 | 21.0 | 24.0 | 26.9 | 27.6           | 15.2  | 21.2 |
| 13              | 0.97 | 29.2                       | 28.6 | 26.4 | 22.8 | 18.3 | 14.9 | 14.6 | 16.3 | 18.6 | 21.9 | 24.9 | 27.9 | 28.6           | 15.9  | 22.0 |
| 14              | 1.00 | 29.7                       | 29.1 | 26.9 | 23.3 | 18.7 | 15.2 | 14.9 | 16.7 | 19.0 | 22.3 | 25.4 | 28.4 | 29.1           | 16.3  | 22.5 |
| 15              | 0.98 | 29.4                       | 28.8 | 26.6 | 23.0 | 18.5 | 15.0 | 14.7 | 16.5 | 18.7 | 22.0 | 25.1 | 28.1 | 28.7           | 16.0  | 22.2 |
| 16              | 0.94 | 28.7                       | 28.1 | 25.9 | 22.4 | 18.0 | 14.5 | 14.2 | 16.0 | 18.2 | 21.5 | 24.5 | 27.4 | 28.1           | 15.8  | 21.6 |
| 17              | 0.91 | 28.2                       | 27.6 | 25.4 | 21.9 | 17.6 | 14.2 | 13.9 | 15.6 | 17.8 | 21.0 | 24.0 | 26.9 | 27.6           | 15.2  | 21.2 |
| 18              | 0.87 | 27.5                       | 26.9 | 24.8 | 21.3 | 17.1 | 13.8 | 13.5 | 15.2 | 17.3 | 20.5 | 23.4 | 26.3 | 26.9           | 14.8  | 20.6 |
| 19              | 0.83 | 26.9                       | 26.3 | 24.1 | 20.7 | 16.6 | 13.3 | 13.0 | 14.7 | 16.8 | 19.9 | 22.8 | 25.6 | 26.2           | 14.3  | 20.1 |
| 20              | 0.80 | 26.4                       | 25.8 | 23.7 | 20.2 | 16.2 | 13.0 | 12.7 | 14.3 | 16.4 | 19.5 | 22.3 | 25.1 | 25.7           | 14.0  | 19.6 |
| 21              | 0.75 | 25.5                       | 24.9 | 22.9 | 19.5 | 15.6 | 12.5 | 12.2 | 13.7 | 15.8 | 18.6 | 21.6 | 24.3 | 24.9           | 13.4  | 18.9 |
| 22              | 0.70 | 24.7                       | 24.1 | 22.0 | 18.7 | 15.0 | 11.9 | 11.6 | 13.1 | 15.1 | 18.1 | 20.8 | 23.5 | 24.1           | 12.8  | 18.2 |
| 23              | 0.64 | 23.7                       | 23.1 | 21.1 | 17.8 | 14.2 | 11.3 | 10.9 | 12.4 | 14.4 | 17.2 | 19.9 | 22.5 | 23.1           | 12.2  | 17.4 |
| 24              | 0.57 | 22.5                       | 21.9 | 19.9 | 16.7 | 13.4 | 10.5 | 10.2 | 11.6 | 13.5 | 16.2 | 18.8 | 21.3 | 21.9           | 11.4  | 16.4 |

CONFORT 20 a 24 °C  
 FRÍO menos de 20 °C  
 CALOR más de 24 °C

## GRÁFICA 91.

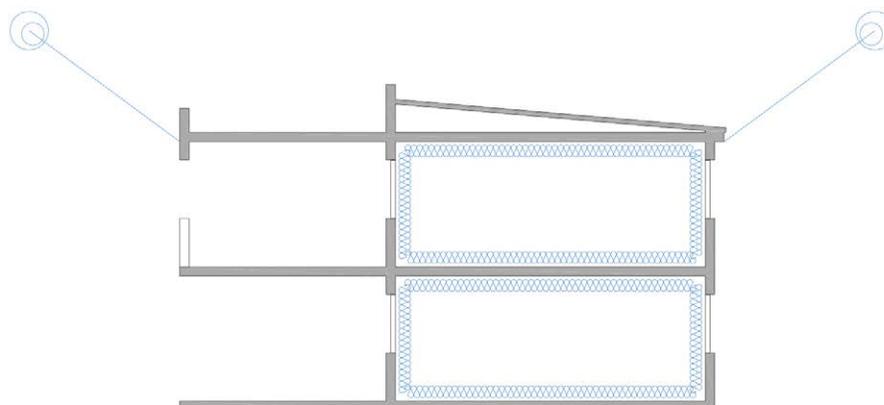
Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Peñaflores



solares pasivos (SSP), como fachadas colectores al Norte pleno, invernaderos, MAC o colectores de aire, o calefacción tradicional adicional. Paralelamente, se requiere mejorar el aislamiento térmico de toda la envolvente edilicia, así como eliminar los puentes térmicos. Se debe priorizar la optimización del aislamiento de techos de aulas de plantas superiores, por donde se producen las mayores pérdidas térmicas. En

verano la situación higrotérmica del aula se encuentra dentro del RCL; no obstante, más del 50% de los alumnos transpira y manifiesta disconfort. En este caso, convendrá mejorar el diseño de los aventanamientos para poder implementar estrategias de ventilación cruzada, así como controlar la ganancia solar, incorporando techos de sombra en las plantas superiores.

GRÁFICA 92.

**Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Peñalolén****Peñalolén**

Los registros higrotérmicos del aula en invierno se encuentran muy por debajo de los rangos de confort admisibles, con bajas temperaturas y altos porcentajes de HR (14°C y 80%). El 50% de los alumnos se encuentran abrigados en invierno, y un porcentaje significativo manifiesta estar en confort térmico, lo que evidencia acostumbramiento a condiciones extremas. En tanto en verano, los registros se encuentran fuera del rango de confort, y se produce sobrecalentamiento. El 50% de los alumnos se encuentra abrigado y más de una cuarta parte transpira. No obstante, los alumnos que manifiestan estar en disconfort nunca superan el 20%. El calentamiento de aire puede ser resuelto mediante sistemas tradicionales de calefacción (actualmente no posee ninguno) y sistemas solares pasivos (SSP), con fachadas colectoras al norte solar (invernadero, MAC o colectores de aire). Además, se requiere mejorar el aislamiento térmico de toda la envolvente edilicia (muros, techos, piso y acristalamiento), así como eliminar los puentes térmicos.

En todos los casos, la iluminancia registrada en las aulas es alta, poco uniforme y no cumple con los estándares recomendados. Se registran iluminancias muy altas cerca de los aventanamientos y bajas en el lado posterior, lo cual requiere equilibrar esta

situación. La mayoría de los alumnos opinan que se encuentran en confort lumínico (80%). Esto implica la necesidad de limitar las iluminancias máximas cerca de las ventanas, especialmente en la orientación Norte diseñando aventanamientos que produzcan mayor uniformidad en todo el local. Se pueden utilizar estantes de luz en ventanas o sombreado de galerías orientadas al norte, que impida la incidencia directa de la radiación solar y refleje luz hacia la parte opuesta del aula, a través de colores claros tanto en estantes de fachada como en pisos de galerías. También se podrían introducirse aventanamientos de mayor tamaño en galerías, y lucarnas con difusores en las plantas superiores, según sea el caso.

La sensación de disconfort acústico es generalizada en aproximadamente el 95% de los alumnos y se manifiesta en todas las auditorías realizadas, con independencia de la época del año. Posiblemente se deba a la necesidad de tener que ventilar abriendo ventanas que dan hacia el patio y las galerías, así como a la falta de tratamiento acústico interior. En el caso de Peñalolén, existe el agravante del gran tamaño de la matrícula distribuida en los tres niveles del edificio en torno a un patio. Se requiere mejorar el aislamiento acústico del aula, especialmente hacia las zonas comunes, para evitar la entrada de ruido

aéreo, y por otro lado, se aconseja el tratamiento de los paramentos interiores de aulas para reducir tiempos de reverberación. De forma complementaria, se deberían optimizar los sistemas de ventilación, evitando aperturas hacia zonas más ruidosas para que el aislamiento acústico al ruido aéreo de la envolvente resulte efectivo.

A causa de la falta de ventilación y la utilización de sistemas de calefacción en invierno, los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> exceden los valores admisibles en todas las aulas auditadas (con máximos registrados en invierno en aulas con orientación Sur), consecuentemente un gran porcentaje de los alumnos manifiestan percibir aire viciado (35% a 71%).

## Clima muy frío con necesidad de calefacción (Puerto Arenas)

### Puerto Arenas

Las condiciones higrotérmicas de las aulas auditadas se encuentran dentro de los rangos de confort, debido al aporte de calefacción tradicional. Los alumnos manifiestan mayoritariamente estar en confort, aunque gran parte de ellos transpiran. Las aulas situadas en plantas superiores presentan mayores pérdidas térmicas por envolvente, y hay, por consiguiente, mayor necesidad de calefacción, por lo cual se debe hacer especial hincapié en la aislación térmica de techos. Asimismo, el agrupamiento debe tender a proteger los espacios exteriores de los intensos

GRÁFICA 93.

Colegio Patagonia. Ciudad de Punta Arenas. Clima muy frío.

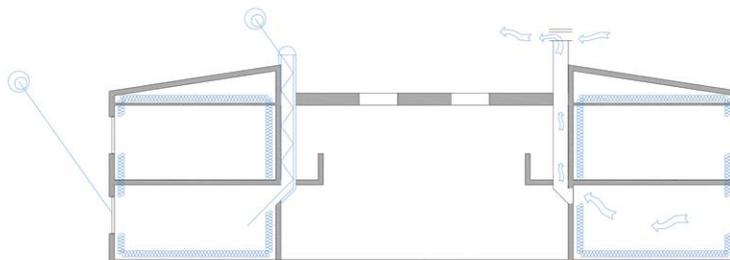
| MAPA DE CONFORT |      |                            |      |      |     |     |      |      |      |     |      |      |      |                |       |     |
|-----------------|------|----------------------------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|----------------|-------|-----|
| HORA            | COEF | TEMPERATURAS HORARIAS (°C) |      |      |     |     |      |      |      |     |      |      |      | PROMEDIOS (°C) |       |     |
|                 |      | ENE                        | FEB  | MAR  | ABR | MAY | JUN  | JUL  | AGO  | SET | OCT  | NOV  | DIC  | D-E-F          | M-J-J | AÑO |
| 1               | 0.46 | 10.3                       | 10.0 | 8.6  | 6.2 | 3.5 | 1.6  | 1.1  | 2.4  | 4.2 | 6.3  | 6.3  | 9.6  | 9.9            | 2.0   | 5.8 |
| 2               | 0.32 | 9.1                        | 8.8  | 7.5  | 5.3 | 2.7 | 0.9  | 0.4  | 1.6  | 3.2 | 5.2  | 4.7  | 8.4  | 8.8            | 1.3   | 4.8 |
| 3               | 0.19 | 8.1                        | 7.8  | 6.5  | 4.5 | 2.0 | 0.2  | -0.2 | 0.9  | 2.3 | 4.1  | 3.3  | 7.3  | 7.7            | 0.7   | 3.9 |
| 4               | 0.08 | 7.2                        | 6.9  | 5.6  | 3.7 | 1.4 | -0.3 | -0.7 | 0.3  | 1.6 | 3.2  | 2.0  | 6.4  | 6.8            | 0.1   | 3.1 |
| 5               | 0.02 | 6.7                        | 6.4  | 5.2  | 3.3 | 1.1 | -0.6 | -1.0 | 0.0  | 1.1 | 2.8  | 1.3  | 5.9  | 6.3            | -0.2  | 2.7 |
| 6               | 0.00 | 6.5                        | 6.2  | 5.0  | 3.2 | 1.0 | -0.7 | -1.1 | -0.1 | 1.0 | 2.6  | 1.1  | 5.7  | 6.1            | -0.3  | 2.5 |
| 7               | 0.06 | 7.0                        | 6.7  | 5.5  | 3.6 | 1.3 | -0.4 | -0.8 | 0.2  | 1.4 | 3.1  | 1.8  | 6.2  | 6.6            | 0.0   | 3.0 |
| 8               | 0.15 | 7.7                        | 7.4  | 6.2  | 4.2 | 1.8 | 0.0  | -0.4 | 0.7  | 2.0 | 3.8  | 2.8  | 7.0  | 7.4            | 0.5   | 3.6 |
| 9               | 0.26 | 8.6                        | 8.3  | 7.0  | 4.9 | 2.4 | 0.6  | 0.1  | 1.3  | 2.8 | 4.7  | 4.1  | 7.9  | 8.3            | 1.0   | 4.4 |
| 10              | 0.44 | 10.1                       | 9.8  | 8.4  | 6.1 | 3.4 | 1.5  | 1.0  | 2.3  | 4.0 | 6.1  | 6.1  | 9.4  | 9.8            | 1.9   | 5.7 |
| 11              | 0.79 | 13.0                       | 12.7 | 11.2 | 8.4 | 5.3 | 3.2  | 2.7  | 4.2  | 6.5 | 8.9  | 10.1 | 12.3 | 12.7           | 3.7   | 8.2 |
| 12              | 0.91 | 14.0                       | 13.7 | 12.1 | 9.2 | 5.9 | 3.8  | 3.3  | 4.8  | 7.3 | 9.9  | 11.5 | 13.3 | 13.7           | 4.3   | 9.1 |
| 13              | 0.97 | 14.5                       | 14.2 | 12.6 | 9.6 | 6.2 | 4.1  | 3.6  | 5.1  | 7.7 | 10.4 | 12.2 | 13.8 | 14.2           | 4.6   | 9.5 |
| 14              | 1.00 | 14.7                       | 14.4 | 12.8 | 9.8 | 6.4 | 4.2  | 3.7  | 5.3  | 7.9 | 10.6 | 12.5 | 14.1 | 14.4           | 4.8   | 9.7 |
| 15              | 0.98 | 14.5                       | 14.2 | 12.6 | 9.7 | 6.3 | 4.1  | 3.6  | 5.2  | 7.8 | 10.4 | 12.3 | 13.9 | 14.2           | 4.7   | 9.6 |
| 16              | 0.94 | 14.2                       | 13.9 | 12.3 | 9.4 | 6.1 | 3.9  | 3.4  | 5.0  | 7.5 | 10.1 | 11.8 | 13.6 | 13.9           | 4.5   | 9.3 |
| 17              | 0.91 | 14.0                       | 13.7 | 12.1 | 9.2 | 5.9 | 3.8  | 3.3  | 4.8  | 7.3 | 9.9  | 11.5 | 13.3 | 13.7           | 4.3   | 9.1 |
| 18              | 0.87 | 13.6                       | 13.3 | 11.8 | 8.9 | 5.7 | 3.6  | 3.1  | 4.6  | 7.0 | 9.6  | 11.0 | 13.0 | 13.3           | 4.1   | 8.8 |
| 19              | 0.83 | 13.3                       | 13.0 | 11.5 | 8.7 | 5.5 | 3.4  | 2.9  | 4.4  | 6.7 | 9.2  | 10.6 | 12.7 | 13.0           | 3.9   | 8.5 |
| 20              | 0.80 | 13.1                       | 12.8 | 11.2 | 8.5 | 5.3 | 3.2  | 2.7  | 4.2  | 6.5 | 9.0  | 10.2 | 12.4 | 12.7           | 3.8   | 8.3 |
| 21              | 0.75 | 12.7                       | 12.4 | 10.9 | 8.2 | 5.1 | 3.0  | 2.5  | 4.0  | 6.2 | 8.6  | 9.7  | 12.0 | 12.3           | 3.5   | 7.9 |
| 22              | 0.70 | 12.2                       | 11.9 | 10.5 | 7.8 | 4.8 | 2.7  | 2.3  | 3.7  | 5.8 | 8.2  | 9.1  | 11.6 | 11.9           | 3.3   | 7.6 |
| 23              | 0.64 | 11.7                       | 11.4 | 10.0 | 7.4 | 4.5 | 2.4  | 2.0  | 3.4  | 5.4 | 7.7  | 8.4  | 11.1 | 11.4           | 3.0   | 7.1 |
| 24              | 0.57 | 11.2                       | 10.9 | 9.4  | 7.0 | 4.1 | 2.1  | 1.6  | 3.0  | 4.9 | 7.2  | 7.6  | 10.5 | 10.8           | 2.6   | 6.6 |

|   |                |
|---|----------------|
| <span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> CONFORT | 20 a 24 °C     |
| <span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> FRÍO    | menos de 20 °C |
| <span style="background-color: #FF0000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> CALOR   | más de 24 °C   |

GRÁFICA 94.

Aislación térmica de la envolvente edilicia. Sistemas solares pasivos. Puerto Arenas



vientos que se producen durante todo el año desde el cuadrante Oeste. La radiación solar es moderada en verano y muy baja en invierno. El calentamiento de aire, en parte, puede ser resuelto por sistemas solares pasivos (SSP), tales como invernaderos o colectores de aire, orientados al Norte pleno.

No obstante, la iluminación natural de las aulas auditadas no cumple en ningún caso con los parámetros recomendados, aunque la mayoría de los alumnos opinan que las condiciones de iluminación son adecuadas. La iluminancia es poco uniforme, muy alta cerca de los aventanamientos y baja en el lado posterior, consecuencia directa de trabajar con aulas que poseen aventanamiento unilateral en cara expuesta. Esto implica la necesidad de diseñar aventanamientos que deberían orientarse al Norte, con lo cual producirían mayor iluminancia en todo el local y se evitaría la radiación solar directa en el interior del aula.

En el aspecto acústico, se han registrado niveles de ruido muy superiores a los admisibles, y un alto porcentaje de los alumnos manifiesta discomfort (85% y 90%). Uno de los problemas básicos que se deben resolver es la insuficiente aislación acústica entre locales, frente a la cercanía del patio cerrado y otras aulas, y la reverberación generada en ámbitos cerrados sin tratamiento acústico.

La necesidad de reducir la ventilación y minimizar las infiltraciones de aire para conservar el calor generado por sistemas tradicionales de calefacción es seguramente el factor que produce que los registros de CO<sub>2</sub>, superen los límites recomendados. La mayor parte de los alumnos (60% a 85%) admite percibir el aire viciado.

## MEXICO (MX)

Las localizaciones estudiadas en las dos estaciones, invierno y verano con características seca o húmeda, corresponden a:

### Clima cálido húmedo

- Ciudad de Campeche. Escuela: Presidente Ávila Camacho. N° 04DPR0360E. Estado de Campeche.
- Ciudad de Comalcalco. Escuela: Marcelino Margalli. N°27DPR0148W. Estado de Tabasco.

### Clima cálido seco

- Ciudad de Juárez. Escuela: Escuela Jaime Torres Bodet. N° 08DPR2424B. Estado de Chihuahua.

### Clima templado seco

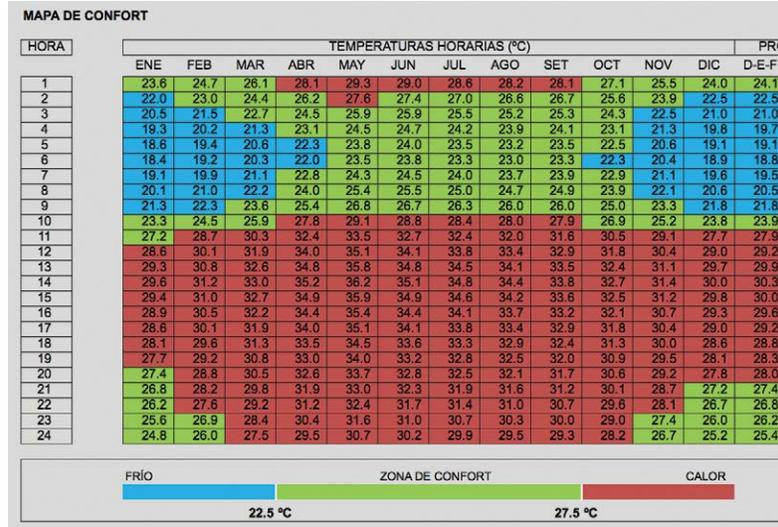
- Distrito Federal. Escuela: Obras del Valle de México. N° 09DPR1535F.
- Ciudad de San Luis de Potosí. Escuela: Prof. Carmen Serdán. N° 24DPR3268F. Estado de Potosí.

## Clima cálido húmedo con necesidad de sombreado + ventilación cruzada (Campeche, Comalcalco)

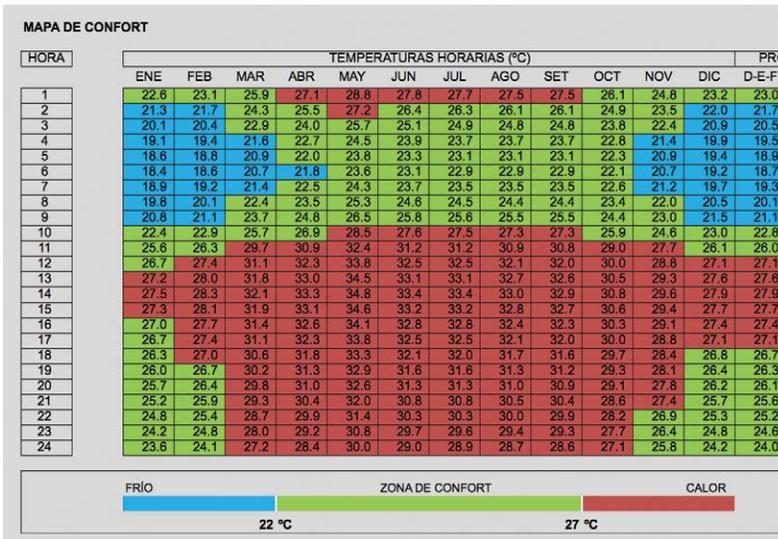
Se encuentra situada a 10m SNM y presenta un clima cálido húmedo, con un período cálido riguroso durante todo el año, con altos valores de humedad relativa. Según las condiciones higrotérmicas medias anuales, debe asegurarse el sombreado, control solar y ventilación cruzada (sobre todo a nivel superior de recinto). Edificio situado en un entorno urbano, tipología de aulas en batería, conformando dos bloques simétricos de dos plantas de altura, en torno a un patio, hacia el que se brindan corredores cubiertos exteriores. Construcción tradicional semipesada, aulas con aventanamiento bilateral en caras opuestas orientadas al Norte y al Sur respectivamente.

Se localiza en zona tropical, a escasa elevación con respecto al nivel del mar (10m). Su cercanía con el Golfo de México determina el desarrollo de climas cálidos con influencia marítima, prácticamente

**GRÁFICA 95.**  
**Escuela Presidente Ávila Camacho. N° 04DPR0360E.**  
**Campeche. Clima cálido húmedo.**



**GRÁFICA 96.**  
**Escuela Marcelino Margalli. N°27DPR0148W. Comalcalco.**  
**Clima cálido húmedo.**

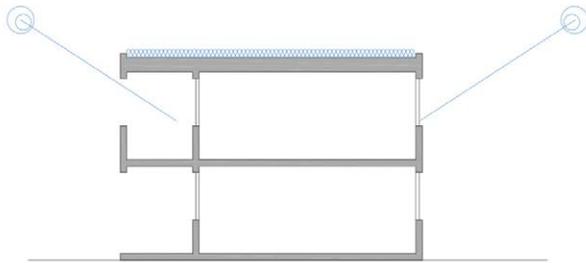


durante todo el año. Las temperaturas oscilan de los 15°C en los meses más fríos (enero y diciembre) hasta 44°C en los más calurosos. La temperatura media anual es de 26,4°C, con importantes oscilaciones térmicas entre el día y la noche. La necesidad

de incorporar ventilación natural cruzada es permanente. Se trata de una tipología de aulas en batería con corredor cubierto exterior, los dos niveles inferiores se brindan hacia patio cubierto, en tanto la planta superior está expuesta por ambas caras, ya que se

GRÁFICA 97.

### Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la cubierta. Campeche



eleva más allá de la cubierta del patio. Apilamiento en tres plantas, construcción tradicional semipesada, localizada en un entorno urbano. Las aulas analizadas poseen aventanamiento bilateral en caras opuestas.

#### Campeche

En invierno, la temperatura interior del aula auditada se ha registrado fuera del rango de confort (entre 25°C y 34°C). Los indicadores de opinión señalan que aproximadamente un tercio de los alumnos se encuentran abrigados y un 60% transpiran y manifiestan discomfort térmico. En el período estival, se registran altas temperaturas interiores, por encima de los 30°C, por sobre la temperatura exterior, lo cual evidencia la deficiente resolución de la envolvente edilicia y el ingreso de radiación directa por ventanas. Un 70% de

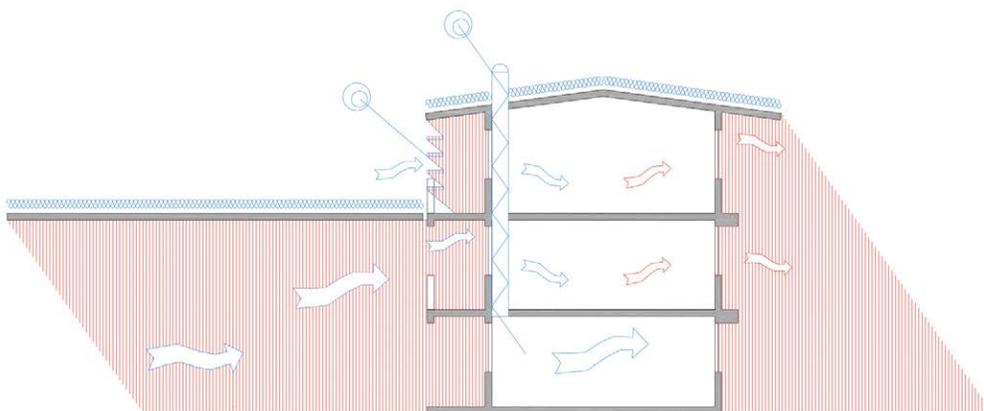
los alumnos manifiestan discomfort térmico y además transpiran. Se requiere incorporar ventilación cruzada, teniendo en cuenta la necesidad de que el aire que accede tenga menor temperatura que la exterior. Esto implica sombrear las áreas exteriores, así como evitar el calentamiento de la envolvente. Algunas estrategias posibles a implementar son: chimeneas solares, techos de sombre y mejorar sombreado de fachada sur.

#### Comalcalco

El aula auditada, en invierno, cumple con las condiciones de confort higrotérmico; no obstante, en verano, estas son críticas, con alta temperatura y humedad relativa (alcanzando los 35°C y 83,6% en el interior). Sin embargo, la opinión de los alumnos se manifiesta en discomfort entre un 32% a 47%, sin advertir esta variación. Los alumnos que dicen que transpiran se mantienen entre un 38% a 57%. La tolerancia a condiciones adversas se incrementa en verano manifestando en gran medida confort frente al marcado sobrecalentamiento. En este caso, solo es posible alcanzar los rangos admisibles con equipos de acondicionamiento energointensivos, lo cual puede evitarse con una correcta resolución tecnológica de la envolvente edilicia que incorpore aislamiento térmico, calentamiento solar pasivo, sombreado principalmente de aulas situadas en niveles superiores, control solar y ventilación cruzada.

GRÁFICA 98.

### Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la cubierta. Comalcalco



Como norma general, en invierno, los niveles de iluminancia son muy bajos, hay poca uniformidad y se produce deslumbramiento; mientras que, en verano, la iluminancia es muy alta cerca de los aventanamientos y baja en el lado de la galería; por lo cual, se requiere equilibrar esta situación. En algunos casos, debido a la necesidad de obturación de aberturas para evitar el ingreso de radiación solar directa, los registros no alcanzan los niveles admisibles requeridos en ninguna época del año, aun cuando se emplea iluminación artificial complementaria. No obstante las condiciones descritas, solo una mínima parte de los alumnos manifiesta discomfort (15% a 32%), lo que refleja un grado importante de acostumbramiento a las condiciones lumínicas desfavorables. La protección solar y el correcto diseño de los aventanamientos es un tema prioritario, para equilibrar los niveles de iluminancia, evitar reflejos molestos y deslumbramiento. Algunas estrategias que podrían aplicarse son introducir estantes de luz en ventanas, pisos reflectantes en galerías en los casos que estén orientadas al Norte, lucarnas con difusores en las plantas superiores y lumiductos para las plantas inferiores.

Los niveles registrados de sonido son excesivos casi todo el tiempo, debido a ruidos exteriores provenientes del patio cubierto adyacente o de la calle (bullicio y tránsito intenso), así como por la reverberación producida en aulas sin tratamiento acústico. En cuanto a la percepción de ruido, entre el 75% y el 100 % de los alumnos manifiestan condiciones desfavorables. Por un lado, se requiere mejorar el aislamiento acústico del aula, especialmente hacia zonas comunes o públicas, para evitar la entrada de ruido aéreo, y por otro, se aconseja el tratamiento de los paramentos interiores de las aulas para reducir el tiempo de reverberación.

En todas las situaciones auditadas, la concentración de CO<sub>2</sub> se encuentra dentro de los rangos admisibles; no obstante, principalmente en verano, la calidad del aire es valorada negativamente por un gran porcentaje de alumnos (entre 65% a 75%), debido al calor, humedad y olor generado por la ocupación.

### **Clima cálido seco con necesidad de sombreo + ventilación cruzada + calefacción (C. Juárez)**

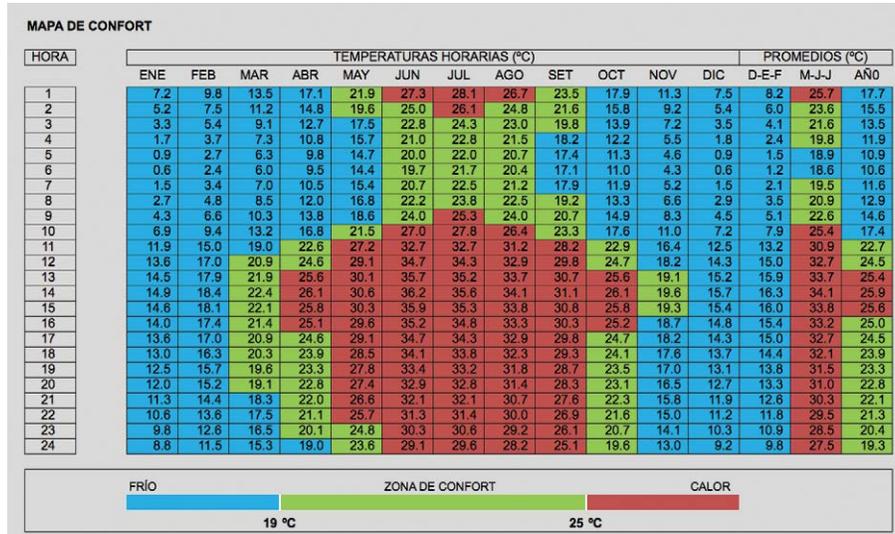
El clima de Ciudad Juárez, situada a 1246m SNM, es desértico extremo. La temperatura promedio anual de la ciudad es de 16,7°C, con una oscilación térmica de 22,0°C entre el mes más frío y el más cálido (media de enero: 5,3°C, media de julio: 35,6°C). Asimismo, presenta una gran amplitud térmica diaria durante todo el año. En el verano, las temperaturas se mantienen calurosas durante el día, templadas durante la noche y frescas durante la madrugada (fluctúan entre 35°C y 18°C). En el invierno, las temperaturas son frescas durante el día y muy frías en las noches (fluctúan entre 14°C y -1°C). Las temperaturas tienen una gran variación de una estación a otra, por lo que se requiere calentamiento solar pasivo, ventilación selectiva nocturna, sombreo, control solar. Se trata de un entorno urbano de baja densidad y una tipología de aulas en batería formando pabellones aislados en una sola planta. Tecnología liviana, con techo a dos aguas que se prolonga en pequeños aleros sobre fachadas opuestas donde se sitúan los aventanamientos de las aulas.

#### **Ciudad Juárez**

La situación higrotérmica anual se verifica como crítica en ambas estaciones. Según las condiciones medias de temperatura y humedad relativa, en invierno, se requiere incorporar calentamiento de aire, que puede realizarse a partir del aprovechamiento de la energía solar. Durante el período de medición, las aulas no cumplen con las condiciones de confort térmico, con registros muy por debajo del RCL (13°C y 45% HR). No obstante, solo una parte de los alumnos manifiestan sentir frío (34% a 43%); una cuarta parte se encuentran abrigados, y casi un 50% admiten que transpiran. En el período estival, se registran altas temperaturas interiores fuera del rango de confort admisible, por encima de los 30°C, debido a la deficiente resolución de la envolvente edilicia y acceso de radiación solar por aventanamientos. Se requiere mejorar la

GRÁFICA 99.

Escuela Escuela Jaime Torres Bodet. N° 08DPR2424B. Juárez.  
Clima cálido seco.



ventilación cruzada y, fundamentalmente, la ventilación selectiva nocturna. Los indicadores de opinión señalan que los alumnos manifiestan un alto grado de confort térmico (76% a 89%), además de transpirar (38% a 50%), lo cual evidencia un grado importante de acostumbramiento a las condiciones desfavorables. En general, las aulas son frías en invierno y se presentan altos consumos de energía para calentarlas, aunque no se logra el confort. Se pueden incorporar sistemas pasivos de ventilación en verano, a través de tubos enterrados para enfriar el aire entrante o sistemas de descarga de calor, como chimeneas solares, y de calentamiento del aire para invierno, mediante invernaderos o muros MAC.

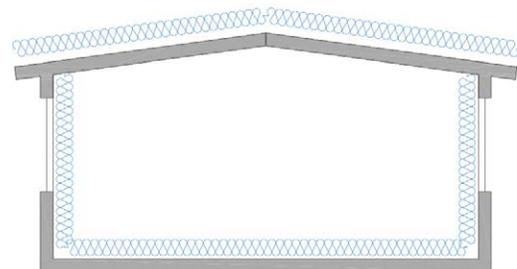
Estas aulas no cumplen con rangos admisibles de iluminancia, ni uniformidad; no obstante, en todas las auditorías, la opinión sobre confort nunca supera el 35% de los alumnos.

En el aspecto acústico, los niveles registrados en invierno exceden el rango admisible. No obstante, se reducen los porcentajes de alumnos que perciben confort (30% a 48%). En verano, los registros son

correctos; no obstante, los indicadores de opinión evidencian un aumento del porcentaje de confort respecto de la percepción de ruidos desagradables (75%). Cuatro son los motivos que justifican esta situación: a) la deficiente aislación acústica del local; b) la cercanía de aulas con circulaciones a patio cubierto; c) falta de tratamiento del campo acústico interior; d) la necesidad de ventilación que se produce

GRÁFICA 100.

Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la envolvente edilicia. Sistemas solares pasivos. C. Juárez



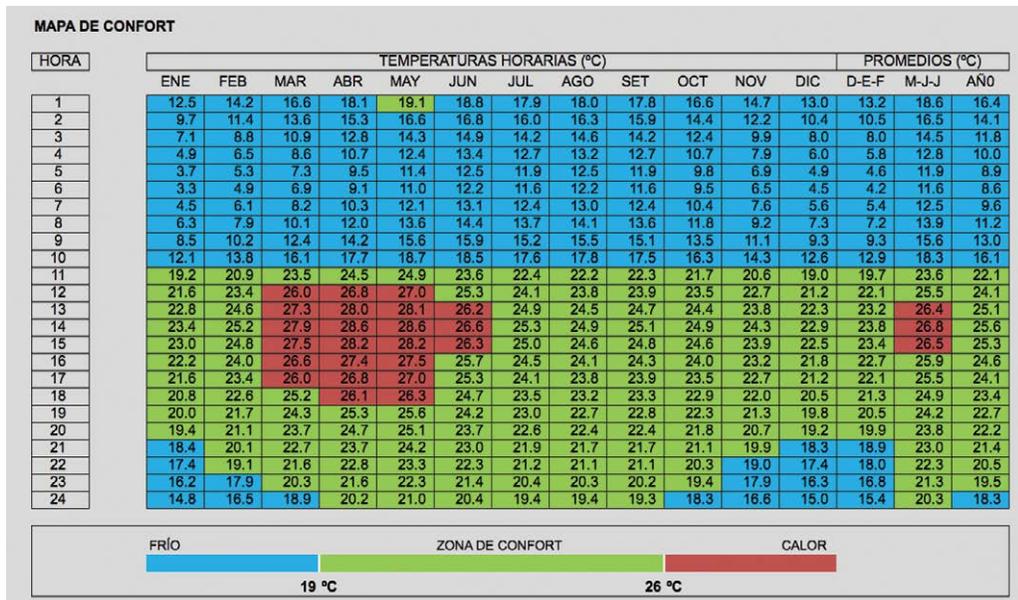
principalmente en verano genera la pérdida de hermeticidad del local. Respecto de la mejora de la calidad acústica del aula, se deberían proponer muros de fondo o cielorrasos con absorción acústica, y preferentemente ventilar por sistemas que minimicen el ingreso de ruido aéreo.

En el caso de la calidad del aire, una parte significativa de los alumnos percibe aire viciado (30% a 76%), con registros que generalmente se encuentran dentro de los rangos admisibles de concentración de CO<sub>2</sub>. Por lo cual, la causa del problema puede basarse en el funcionamiento de equipos de calefacción, en la falta de humedad en el ambiente, en los olores generados por la ocupación.

### Clima templado seco con necesidad de sombreado + ventilación cruzada + calefacción ( D. Federal, San Luis de Potosí)

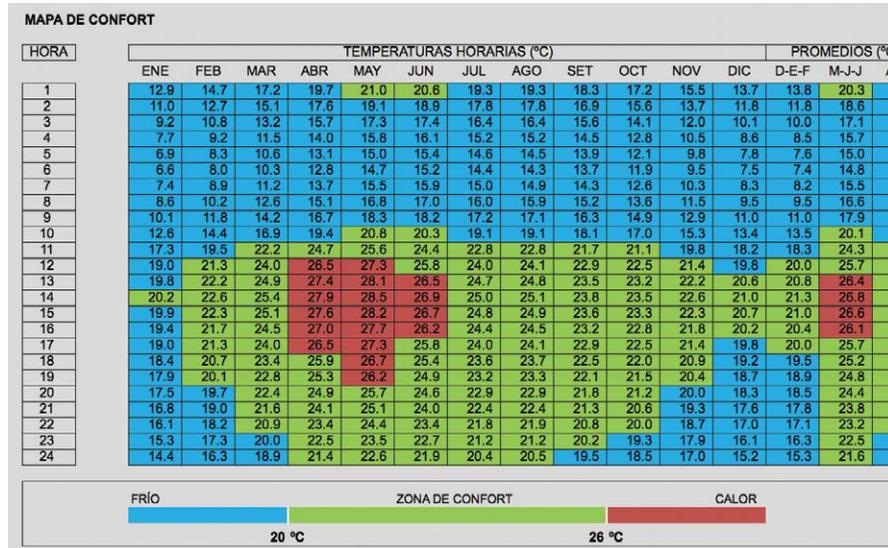
El clima en DF es particular, ya que se encuentra a 2240 metros SNM, en un valle rodeado por volcanes y montañas. El clima se divide en dos temporadas: la seca, con días soleados e importantes descensos de temperatura hacia la noche, y la lluviosa en verano, con clima cálido, caracterizada por lluvias frecuentes, con temperaturas que pueden alcanzar los 35°C. Según las condiciones medias anuales de temperatura y HR, se requiere incorporar calentamiento de aire, sombreado y ventilación cruzada. Se trata de un entorno urbano; tipología de aulas en batería, conformada por dos bloques simétricos de tres plantas de altura, en torno a un patio hacia el que se brindan galerías cubiertas exteriores. Construcción tradicional semipesada, aulas con aventanamiento bilateral en caras opuestas orientadas al Norte y Sur.

GRÁFICA 101.  
Escuela Obras del Valle de México. N° 09DPR1535F. Distrito Federal. Clima templado seco.



GRÁFICA 102.

Escuela Prof. Carmen Serdán. N° 24DPR3268F. San Luis de Potosí.  
Clima templado seco.



Se trata de una ciudad situada a 1870m SNM, con un clima templado seco-semidesértico. Presenta estabilidad higrotérmica durante todo el año con una media anual 18°C y 54% HR. La humedad relativa es baja debido a la escasez de lluvia (393mm), con una marcada situación del período invernal, cuando se requiere incorporar calentamiento de aire, que bien puede realizarse con el aprovechamiento de la energía solar. En el período estival, se produce un aumento de la temperatura y se necesita incorporar ventilación cruzada. La escuela se localiza en un entorno urbano

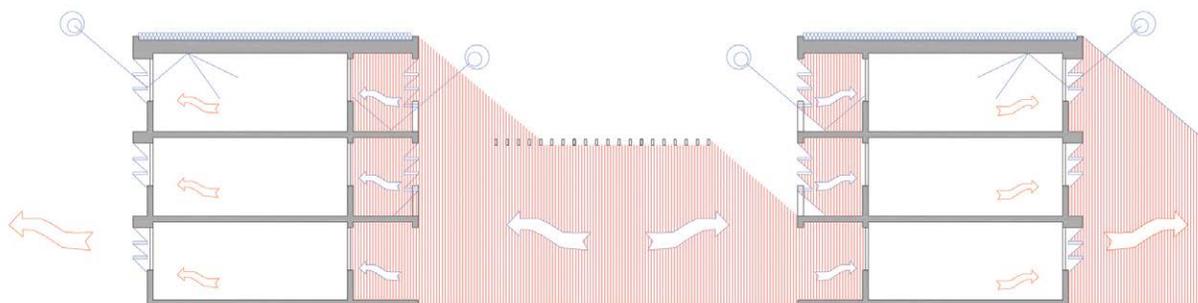
de densidad media; tipología de aulas en batería que forman pabellones aislados en una sola planta, con aleros en fachadas. Techo a dos aguas y tecnología semipesada. Aulas analizadas con aventanamiento bilateral en caras opuestas.

**Distrito Federal**

La temperatura exterior de las aulas auditadas, en invierno, presenta una oscilación entre el día y la noche menor a 16°C y la interior refleja el efecto de la inercia térmica (con amortiguamientos de 7°C y

GRÁFICA 103.

Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la cubierta. Sistemas solares pasivos.  
Distrito Federal



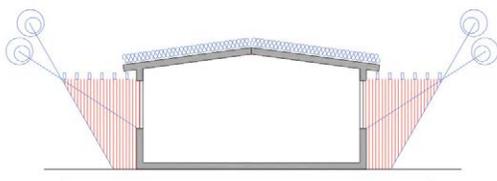
retraso de 6 horas en el caso de la máxima). Los registros higrotérmicos interiores se encuentran levemente fuera de la zona de confort. El 58% de los alumnos manifiestan tener frío, el 43% están abrigados y un 70% dice que transpira. Se requiere incorporar estrategias de calentamiento del aire, que podría ser resuelto por sistemas solares pasivos (SP). Durante el período estival, las aulas auditadas cumplen con las condiciones de confort térmico, en tanto que más del 50% de los alumnos señala que tiene calor y transpira, con nivel de abrigo acorde a la estación. Las condiciones higrotérmicas se encuentran dentro de la zona de confort, la mayor parte del tiempo.

### San Luis de Potosí

En invierno, los registros de temperatura y humedad en el aula cumplen con las condiciones de confort, y consecuentemente una reducida proporción de alumnos manifiesta estar en disconfort (23% a 38%). La humedad relativa interior se ha registrado generalmente en rangos admisibles; no obstante, el frío es seco y hace que, por momentos, la humedad baje más allá de los niveles recomendados, lo cual puede generar problemas de sequedad en mucosas y lagrimales. En verano, en general, la escuela presenta condiciones de confort, con sobrecalentamiento en situaciones puntuales, lo cual puede resolverse con ventilación cruzada. En verano, la sensación de disconfort térmico es manifestada por un 33% a 44%

#### GRÁFICA 104.

**Sombreo. Ventilación natural. Aislación térmica de la cubierta. Sistemas solares pasivos.**  
San Luis de Potosí



de los alumnos, y se incrementa la proporción de los que transpiran (66% a 96%). Se requiere incorporar calentamiento de aire por sistemas pasivos, a través de fachadas colectoras, muros acumuladores de calor (MAC), en la fachada sur; sombreado para evitar sobrecalentamiento; aislación térmica de la envolvente y ventilación cruzada. La incorporación de vegetación en el exterior permitiría aumentar la humedad del aire y disminuir la temperatura que se inyecta en el aula.

En el caso del DF, se han registrado en aula con orientación Norte iluminancias mínimas y máximas altas (hasta 3900 lux). En las aulas auditadas en San Luis de Potosí, los registros han sido, en general, aceptables en verano y en invierno, pero se estima que sería apropiado elevar los niveles de iluminancia. En ningún caso cumple con la uniformidad recomendada y se verifica deslumbramiento; no obstante, la situación de disconfort solo es registrada por una cuarta parte de los alumnos. Se requiere un diseño de las fachadas de las aulas que deben orientarse plenas al Sur, con incorporación de algún mecanismo para evitar ingresos de radiación solar directa sobre el plano de trabajo (por ejemplo, estantes de luz, *brise-soleil* en fachadas), o introduciendo iluminación indirecta por techos, de modo de elevar los niveles de iluminancia en las zonas más alejadas de las ventanas para obtener una mejor distribución interior, lo cual minimizaría la necesidad de iluminación artificial complementaria.

En cuanto al ruido registrado, tanto dentro como fuera del aula, los valores se encuentran fuera de los rangos de confort. La sensación de disconfort acústico es generalizada y alcanza al 86% de los alumnos encuestado, y se manifiesta en la totalidad de las auditorías realizadas, con independencia de la época del año. Se trata de establecimientos con superpoblación de alumnos, que obliga a doblar horarios de recreo, hecho que ocasiona molestias a los que continúan en clase. Además, se verifica la necesidad de abrir ventanas para ventilar, así como a una falta de tratamiento acústico del aula. Se deberían optimizar los sistemas de ventilación, evitando aperturas hacia zonas más

ruidosas (calle, patio o galerías según sea el caso) para que el aislamiento acústico de la envolvente resulte efectivo, y proporcionar tratamiento interior de aulas para controlar tiempos de reverberación.

No se registran problemas de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire y, aunque la mayoría de los alumnos indican que es necesario ventilar el aula, sólo entre un 30% a 42% manifiesta percibir disconfort por este motivo.

## REPÚBLICA DOMINICANA (RD)

### Clima cálido húmedo mediterráneo

- Villa Alta Gracia. Prov. de San Cristobal. Escuela Nuestra Señora de Fátima, N°21058310.
- Bayaguana. Prov. de Monte Plata. Escuela Moraima Veloz de Báez, N°29006211.
- Bonao. Prov. de Monseñor Nouel. Escuela Jacqueline Lima, N°28085818.
- Los Alcarrizos. Prov. de Sto. Domingo. Escuela Mi Bandera, N°1230419.
- Monte Plata. Prov. de Monte Plata. Escuela Rafael María Díaz Gavilán, N° 29041915.

### Clima cálido húmedo con influencia litoral

- Baní. Prov. de Peravia. Escuela Santa Rosa, N° 17030216.
- Azua. Prov. de Azua. Escuela San Martín de Porres, N° 2051219.
- Brisas del Este. Prov. de Sto. Domingo. Escuela Prof. Juan Bosch, N° 32005111.
- La Caleta. Prov. de Sto. Domingo. Escuela Santa Lucía, N° 32003517

### Clima cálido húmedo con necesidad de sombreo + ventilación natural

Las condiciones climáticas de República Dominicana corresponden a un clima cálido húmedo predominantemente tropical, con temperaturas medias anuales entre 25°C y 35°C. Con lluvias abundantes en relación a su cercanía al Océano Atlántico y al mar Caribe, y su

altura sobre nivel del mar. Posee una estación lluviosa entre los meses de abril a noviembre, con ocurrencia de huracanes, dos a tres veces al año, y máximas en el mes de julio. La altitud SNM, que varía entre 12m a 196m; el índice pluviométrico, entre 78mm a 227mm anuales; y su cercanía al mar son las variables significativas que definen las diferencias climáticas entre las localizaciones estudiadas. En relación a estas características, se requieren edificios livianos (sin masa térmica interior), con orientación preferentemente Norte-Sur de las fachadas más largas. En el caso de que los edificios sean semipesados o pesados, se deben aislar térmicamente por la cara interior.

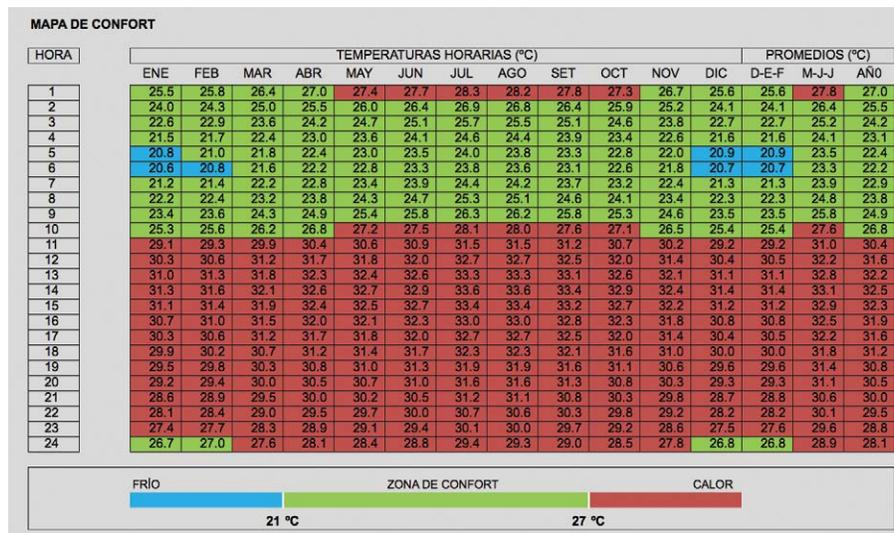
De las localizaciones estudiadas, Azua, Baní, Brisas del Este, Los Alcarrizos y La Caleta corresponden a situaciones con influencia litoral del mar Caribe, mientras que Bonao, Monte Plata, Bayaguana y Villa Alta Gracia poseen características mediterráneas. La temperatura media anual en todas las localizaciones se registra por encima de los 25°C y humedad relativa entre 74% a 83%, lo que indica un clima riguroso después de las 10:00hs (am), cuando la situación climática se manifiesta como crítica debido a la carga térmica de la atmósfera y la masa terrestre. En la Gráfica 105, se muestra la situación climática de Baní, representativa del resto de localizaciones.

En el caso de Rep. Dominicana, se observa que todos los edificios se corresponden a organizaciones de las aulas en forma lineal, en una crujía con circulaciones semicubiertas, cuyo agrupamiento se puede clasificar en cuatro categorías: 1. Dos pabellones en torno a un patio, de dos pisos y con cubierta plana (Los Alcarrizos, Baní, Bonao, La Caleta); 2. Ídem anterior con un solo nivel (Alta Gracia); 3. Un pabellón, en dos pisos y cubierta con pendiente a dos aguas (Bayaguana, Monte Plata y Brisas del Este); 4. Un pabellón, una planta y cubierta plana (Azua). A continuación, se muestra un ejemplo por cada categoría:

Para todas la aulas auditadas, en las dos estaciones, se registra en el interior contenidos de humedad

GRÁFICA 105.

## Mapa de confort térmico, según temperatura med. anual. Baní



entre 55% a 80% y temperaturas entre 27°C a 30°C, por sobre el rango de confort local. Los alumnos en su gran mayoría se visten, lógicamente, con ropa muy liviana y liviana (73% a 100%). En cuanto a la opinión sobre la temperatura interior, no se verifica una correlación directa con las condiciones ambientales registradas. De todos modos, de las 18 aulas auditadas (en ambas estaciones), en 12 de ellas los alumnos opinan mayoritariamente que se encuentran en confort (76% a 91%), lo cual evidencia un acostumbramiento a las condiciones higrotérmicas desfavorables. Solo en ocho situaciones la mayoría manifiesta que transpira (55% a 87%) y en seis, que el aire está viciado.

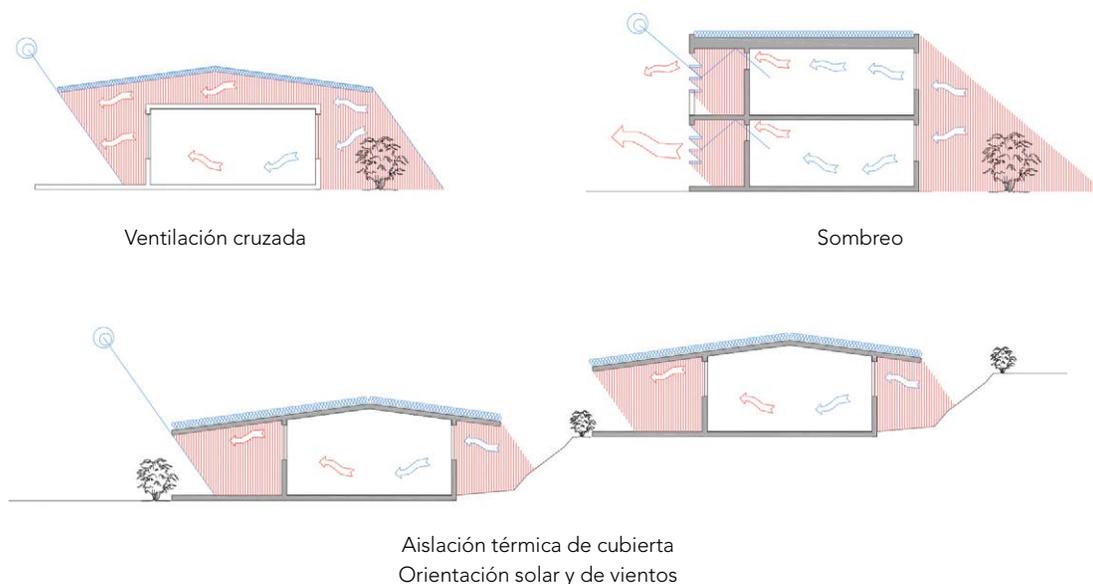
Las estrategias de diseño requeridas son: sombreado, poca masa térmica y ventilación natural. Es aconsejable incorporar sombreado de las superficies verticales, en la orientación Sur y máxima protección de las cubiertas, las cuales deben corresponder a "techos de sombra" que optimicen la ventilación cruzada. Teniendo en cuenta la dirección de viento y las brisas, se podría implementar esta estrategia entre cielorraso y cubiertas, y en los casos de aulas apiladas, entre cielorraso y losa. Otra solución posible para evitar la incidencia de la radiación solar directa

sobre las superficies (sombreado), son las cubiertas y fachadas ventiladas que permiten además la extracción convectiva del aire caliente. La incorporación y tratamiento de espacios intermedios, como parasoles o galerías, abiertos y ventilados, que favorezca la ventilación cruzada, es un factor importante que hay que tener en cuenta (Gráfica 106). Por otro lado, se requiere un diseño específico de los aventanamientos orientados al Sur, que minimice la visión directa de la bóveda celeste, regule y difunda la iluminación en el interior del aula y permita la ventilación cruzada. Otro de los aspectos importantes es el tratamiento de los espacios exteriores con vegetación autóctona.

Los alumnos manifiestan estar confort lumínico (60% a 95%), y se registra en gran parte de las aulas niveles promedio excesivos para la actividad, por encima de los 750 lux.

En cuanto a la percepción de ruido, la gran mayoría de los alumnos encuestados manifiesta encontrarse en disconfort, con registros medidos entre 62db y 84db, que se elevan por encima del rango de confort adoptado, lo que implica la necesidad de intervenir en el campo acústico interior del aula.

GRÁFICA 106.  
Pautas de diseño



## Conclusiones

El trabajo ha expuesto una serie de aspectos metodológicos y empíricos en el análisis de las condiciones ambientales en aulas escolares, a partir de la realización de auditorías con el objeto de determinar las condiciones de confort en establecimientos educativos en seis países de América Latina. También se confrontaron los resultados obtenidos con la situación físico-espacial, climático-regional y los estándares nacionales e internacionales. Se auditaron datos subjetivos y objetivos, obtenidos a partir de la implementación de encuestas de opinión y mediciones estandarizadas, llevadas a cabo por los diferentes equipos regionales.

Se expuso en el presente documento una síntesis de los resultados obtenidos a partir del proceso de análisis desarrollado en tres niveles: (a) por establecimiento educativo auditado y estación climática; (b) por país; (c) entre países. Como parte de las conclusiones a las que se ha arribado, se dieron recomendaciones por país y establecimiento educativo, en función de las características climáticas de su localización.

A partir del conocimiento de la situación real de las aulas, ha sido posible definir un diagnóstico que permitió reconocer las buenas prácticas e identificar las situaciones críticas en las que es necesario implementar estrategias de mejoramiento edilicio, para optimizar las condiciones ambientales y favorecer de modo efectivo los procesos de enseñanza-aprendizaje.

De las conclusiones obtenidas, se observa que las condiciones higrotérmicas no responden, en general, a los estándares aconsejados. Las condiciones de iluminación natural se entienden como una condición crítica para un aula escolar, debido a la actividad que allí se desarrolla y a la necesidad de resguardar los aspectos psicofísicos de sus ocupantes. Los resultados del estudio permiten registrar que, en algunos casos, los niveles de iluminancia y uniformidad no se corresponden con las necesidades fisiológicas. En este aspecto, la opinión de los alumnos verifica un grado de acostumbramiento a condiciones desfavorables. Los niveles de sonido en la muestra se han registrado fuera de los rangos de confort, lo cual se convierte en un aspecto crítico. En cuanto a la calidad

del aire, se ha detectado que existen situaciones en las que coinciden períodos invernales y concentraciones de  $\text{CO}_2$  no admisibles. En estos casos, la necesidad de regulación de ventilación e infiltración de aire genera otros problemas, térmicos, higrométricos, olfativos, que enmascaran la opinión de los alumnos respecto de este parámetro, por lo cual se deberían realizar estudios específicos.

Los alumnos encuestados expresaron su opinión sobre las variables ambientales analizadas. En ciertos casos, coinciden con la situación de confort o discomfort registrada y, en otros, demuestran situaciones de acostumbramiento, debido a cuestiones culturales y de tolerancia corporal. Dicho de otra manera, es de destacar que la temperatura y la iluminación natural son los parámetros críticos desde un punto de vista objetivo; no obstante, esto no se refleja siempre en la opinión de los alumnos. En primer lugar, como se ha mencionado, por un factor de acostumbramiento y, en segundo lugar, por la posibilidad de autorregular los efectos negativos en su cuerpo y en el aula. Por ejemplo, a través del grado de abrigo, la apertura o el cierre de ventanas, la incorporación de cortinados, cierta autonomía en el manejo de calefactores y ventiladores, la incorporación de iluminación artificial complementaria. No obstante, por el contrario, el sonido y la calidad del aire son claramente señalados por los alumnos como los aspectos que producen mayor discomfort, pero de difícil solución, ya que su mitigación se encuentra comprometida con las estrategias de ventilación o con la necesidad de obtener un cierre hermético del aula.

Desde un punto de vista ambiental, en las escuelas donde se han detectado situaciones desfavorables, se deberían aplicar técnicas de *retrofit* para alcanzar condiciones razonables de confort que puedan favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. En el caso de edificios de nuevo diseño, se aconseja incorporar criterios bioclimáticos que contribuyan a mejorar principalmente los aspectos que se han identificado como críticos en este trabajo. Los aspectos mencionados deberían utilizarse para implementar líneas de acción desde los organismos nacionales encargados de la gestión de los establecimientos escolares.

Como conclusión, podemos aseverar que los casos estudiados garantizan espacios habitables acordes para cumplir básicamente con la función establecida, pero deberían tender a la mejora de los niveles de habitabilidad y confort, para encaminarse hacia el marco de la sustentabilidad ambiental.

En este sentido, la importancia de generar estudios específicos sobre la realidad latinoamericana pone en evidencia la necesidad de acordar metodologías comunes y prácticas consensuadas con las cuales arribar a conclusiones y recomendaciones, para poder definir estrategias y desarrollar políticas de intervención en el sector.

La implementación de acciones como las propuestas traccionarán la realidad a estados de desarrollos adecuados, necesarios para arribar a propuestas de edificios escolares que mejoren el "Aprendizaje en las escuelas del siglo xxi".









[www.iadb.org/education](http://www.iadb.org/education)  
<http://blogs.iadb.org/education/>  
[education@iadb.org](mailto:education@iadb.org)