

CALIDAD AMBIENTAL DE LAS AULAS DE COLEGIOS EN EL TRÓPICO: EVALUACIÓN SUBJETIVA Y OBJETIVA DEL CONFORT TÉRMICO, VISUAL Y SONORO

Montoya Olga ⁽¹⁾, San Juan Gustavo ⁽²⁾

⁽¹⁾ Programa de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño (FAAD). Universidad de San Buenaventura, Cali. Avenida 10 de mayo, La Umbría, vía a Pance. C.P. 76001. Colombia.
Tel: 057-2-4882222 ext. 8059. E-mail: olmontoy@usbcali.edu.co

⁽²⁾ Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC-CONICET/UNLP). Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
Calle 47 N°162, La Plata, C.P. 1900 – Prov. de Buenos Aires
Tel. 0221-4236587/90 int. 250.e-mail: gustavosanjuan60@hotmail.com

Recibido 12/08/18, aceptado 28/09/18

RESUMEN: El trabajo presenta la evaluación de la calidad ambiental (térmica, visual y acústica) en relación con la normativa, de las aulas de cuatro establecimientos escolares. La metodología empleada fue de auditoría ambiental, organizada en dos componentes: (i) objetivo, (mediciones); y (ii) subjetivo, (encuesta de percepción). Asimismo, los resultados se verificaron con la normativa local e internacional. Los resultados en cuanto al confort térmico, evidencian aulas en su mayoría en estado no confortable. En el tema visual, se registraron niveles de iluminación natural insuficientes y falta de uniformidad. Por último, los niveles de ruido de fondo y tiempo de reverberación, excedieron los límites normativos para el confort acústico, los cuales se entienden como los valores necesarios para garantizar espacios con calidad, para las actividades de aprendizaje al interior de las aulas.

Palabras clave: Calidad ambiental, aulas escolares, confort térmico, confort visual, confort acústico, clima tropical.

INTRODUCCION

La comprensión del confort en colegios, es fundamental para arquitectos e ingenieros al momento de proveer espacios ambientalmente adecuados y en equilibrio entre las condiciones externas e internas, con lo cual los procesos de enseñanza y aprendizaje (Murillo & Martínez-Garrido, 2012) se puedan realizar en condiciones confortables y satisfactorias. (San Juan, Hoses, Martini, 2014).

La zona de confort (zona en donde la mayoría de los ocupantes manifiestan un grado de satisfacción con el medio que los rodea) es definida por instituciones nacionales e internacionales, que estiman los valores admisibles en las normas. Estos, han sido ampliamente aplicados y/o cuestionados en condiciones estacionales, sin embargo, son recientes las investigaciones en contextos tropicales y cálidos.

En los temas del confort térmico, los resultados muestran que la sensación térmica en confort reportada por los estudiantes es más elevada que la indicada por las normas (Liang, Lin, & Hwang, 2012; Tablada, De La Peña, & De Troyer, 2005). En cuanto al confort visual, Arango Díaz, L., et al, (2013), alertan sobre el riesgo de analizar los vanos de fachada de manera aislada con los aspectos térmicos, en especial en aulas sin vidrio, relacionadas de manera directa con el exterior, en las cuales, sin la correcta zonificación de espacios y la selección de materiales, se disminuye el confort acústico. (Zannin & Zwirtes, 2009).

¹ Investigador FAAD-USB.

² Investigador Independiente CONICET-UNLP.

El confort térmico ha sido abordado desde dos enfoques conceptuales y normativos: el modelo analítico y el adaptativo (ASHRAE, 2010). El primero se basa en una escala de sensación térmica y permite a través del voto medio, predecir el porcentaje de personas que estarán satisfechas en un espacio o *Predicted Mean Vote* (PMV), y el porcentaje de personas insatisfechas o *Percentage of People Dissatisfied* (PPD). Investigaciones (Wong & Khoo, 2003; Zhang G., et al, 2007) muestran que el modelo no refleja la situación de confort en las aulas en situación cálida, con diferencias del PMV y los votos de 2.7°C hasta 3°C respectivamente.

El segundo modelo, el adaptativo (ASHRAE, 2010), aparece como crítica a la aplicación de la norma en edificios ventilados naturalmente. Los rangos de confort bajo este modelo, se establecen a partir de la temperatura promedio exterior mensual, caso contrario al confort en edificios climatizados artificialmente (Hwang, Lin, & Kuo, 2006; Kwok & Chun, 2003).

En el tema del confort visual, es tan importante el diseño de la envolvente (ingreso de la luz), como las características del espacio (distribución) (Ledesma et al., 2004). El aprovechamiento óptimo de la iluminación natural, permite alcanzar los niveles de iluminación exigidos por las normas, y minimizar o prescindir del uso de la iluminación artificial diurna, con ahorros entre el 50% y 80% en el consumo total (Monteoliva & Pattini, 2013). Por otro lado, el ingreso desmedido de la luz genera brillos indeseados, altos contrastes, aumento del calor e ineficiencia energética (Wu, W., & Ng, E., 2003).

Según la norma colombiana NTC 4595, el límite de iluminancia sobre plano de trabajo es de 300 lux (año 2000), y 500 lux para el 2015, al igual que en Argentina y Holanda, superando el umbral de países en condiciones similares como México (400 lux) y Brasil (200 lux) (Pattini, A., 2000).

El interés de las auditorías energéticas es identificar los niveles registrados de los parámetros ambientales, y compararlos con los valores recomendados por la normativa nacional e internacional, con el fin de arribar a conclusiones y recomendaciones que guíen el diseño de edificios escolares existentes (Retrofit) o de edificios nuevos (San Juan, Hoses, Martini, 2014).

En este sentido, se entiende que los límites normativos en el espacio educativo deben favorecer las condiciones para que la actividad de enseñanza-aprendizaje, se desarrolle sin perturbaciones, ni molestias (NTC 4595, 2015), sin daños fisiológicos, sin alterar y ni agravar las condiciones normales de confort que se requieren.

El diseño del edificio y su entorno se convierten en un hecho fundamental, en donde los principios de equilibrio bioclimático, así como de eficiencia energética deben hacer parte del análisis en las primeras etapas proyectuales. En este sentido, es importante generar estudios específicos, que aporten conclusiones y recomendaciones para poder definir estrategias y desarrollar políticas de intervención en el sector.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Casos de estudio

La ciudad de Cali, Colombia, se localiza en el trópico ecuatorial cálido (3° 27' Lat. Norte; 76° 31' Long. Oeste). Se seleccionaron cuatro edificios de nivel escolar primario, con organización tipológica lineal, las cuales corresponden a una orientación solar de las fachadas principales norte-sur, no plena, situación característica de la producción arquitectónica local. Estos establecimientos son: Isaías Duarte Cancino (aula, A1 y A2), Nelson Garcés Vernaza (aulas, A3 y A4), Nuevo Latir (aulas, A5 y A6) y Juana de Caicedo (aulas, A7 y A8), (Figura 1).

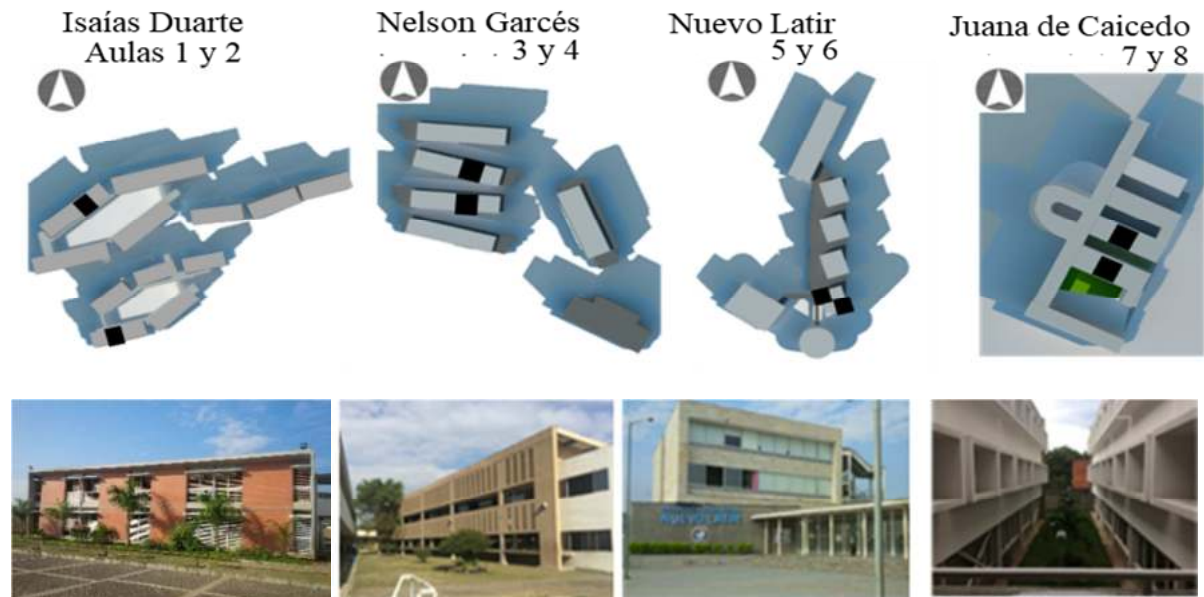


Figura 1: Esquema organizativo de los colegios, con su orientación solar, localización de las aulas estudiadas (en color negro) y las imágenes de fachadas de las aulas.

Los cuatro establecimientos están resueltos con aulas rectangulares apareadas (dos lados compartidos con aulas, uno con circulación y uno expuesto). Mientras los tres primeros están resueltos a través de tiras, el cuarto conforma patios. La materialidad constructiva y la resolución de la fachada al exterior, está resuelta de la siguiente manera: (i) Isaias Duarte: ladrillo cerámico hueco de 12cm de espesor, a la vista de ambos lados ($K= 2.8 \text{ W/m}^2\text{°C}$); (ii) Nelson: bloque de concreto de 12cm de espesor, a la vista de ambos lados ($K= 8.3 \text{ W/m}^2\text{°C}$); (iii); Nuevo Latir: bloque de concreto de 15 cm, a la vista interior y enchapado en mármol en el exterior ($K= 6.53 \text{ W/m}^2\text{°C}$); (iv) Caicedo: bloque de concreto de 20cm de espesor, a la vista de ambos lados ($K= 5.0 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

El aula, espacio estudiado, corresponde al módulo edilicio habitable con mayor oferta y demanda de requerimientos: espaciales, energéticos, tecnológicos y de calidad ambiental; tiene mayor representatividad en un edificio escolar y posee el mayor grado de ocupación (San Juan, 2008). Por ser el espacio donde se desarrolla con mayor énfasis la relación enseñanza-aprendizaje, requiere de mayor precisión en los requerimientos de confort (iluminación, temperatura, humedad, sonido y calidad del aire).

Metodología, variables, instrumentos de análisis y tamaño de la muestra

Las condiciones ambientales se evaluaron en 4 establecimientos escolares, 8 aulas y se involucraron 535 estudiantes, entre los 8 y 16 años de edad, de los cuales 277 correspondieron en el periodo lluvioso y 258 en el periodo seco. Se aplicó la técnica del audit-diagnóstico (San Juan, Hoses, & Martini, 2014), basada en la medición de los parámetros ambientales y el sondeo de los factores de confort del usuario (percepción). En el primer caso, se recurrió a mediciones instantáneas y continuas, utilizando instrumental específico, obteniéndose datos objetivos. En el segundo caso, se trata de factores subjetivos registrados a través de una encuesta de percepción del usuario.

El diagnóstico se basa en el análisis de las variables ambientales necesarias para caracterizar el medio ambiente del aula. El procesamiento de la información implica: (i) presentar en forma descriptiva los resultados; (ii) analizar en forma relacional las variables analizadas a partir de los dos tipos de auditoría; (iii) comparar los resultados en función de los parámetros normativos considerados:

- Rangos de confort local (RCL). Zona de confort con temperaturas operativas entre 22.5°C y 26.0°C , al 60% de HR. (NTC 5316, 2015); 2°C a 24°C a 60% de HR y 1.0 clo. (ANSI/ASHRAE Standard 55/2010).

- Rango de iluminancia interior para aulas escolares. Nivel promedio mínimo 300 lux y 500 lux (NTC 4595, 2006 y 2015) respectivamente, y mínimo 300 lux, medio 500 lux y máximo 750 lux, RETILAP.
- Rango de sonido: de 40 dB a 45 dB (NTC 4595, 2015).

Las mediciones continuas se realizaron con adquirentes de datos con registro cada 10 minutos durante dos meses del año (60 días), en los meses de: marzo (lluvioso) y agosto (seco), en donde se registró, temperatura (°C) y humedad relativa (%). Se utilizaron, termo-higrómetros marca HOBO U23 Pro V2, precisión $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ entre 0° to 50°C , entre 10% a 90% RH (típico) y resolución de 0.02°C a 25°C , y 0.05 %, para el ambiente exterior; y HOBO U12-012, precisión $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ entre 0° to 50°C , entre 10% a 90% RH típico; y resolución de 0.03°C a 25°C , y 0.05 %, para el interior. En cada uno de estos períodos se realizaron además mediciones puntuales en el aula de: velocidad del aire (m/s) con anemómetro marca Lutron LM-8000, rango de 0.4 a 30.0 m/s con resolución 0.1 m/s. Temperatura superficial de muros y techos, con termómetro infrarrojo NUB 8380, rango entre -50 a 380°C . Para la iluminancia (lux) se midieron los valores en cada puesto de trabajo (Figura 10), con el luxómetro Lutron LX-1102, con rango de 40.00/400.0/4,000/40,000/400,000 Lux y resolución: 0.01 Lux a 100 Lux. Para la verificación del nivel sonoro, se registró el tiempo de reverberación con/sin ocupantes y ruido de fondo con el aula vacía con sonómetro clase 1 y analizador de espectro por bandas de tercio de octava y octava. Dichos parámetros se registraron en simultáneo a la encuesta de opinión.

Los datos incluidos en la encuesta de opinión son: (i) Personales; (ii) Estado del tiempo; (iii) Prendas de vestir; (iv) Temperatura y humedad relativa; (v) Ventilación y calidad del aire; (vi) Sonido; (vii) Iluminación natural; (viii) Iluminación artificial; (ix) Satisfacción (San Juan, et al, 1999). Para el confort térmico se definieron los valores de las prendas de vestir (clo) y para *met*, se basaron en la norma (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2010), al igual que la escala de sensación térmica: muy caluroso (+3), caluroso (+2), ligeramente caluroso (+1), neutro (0), ligeramente fresco (-1), fresco (-2) y frío (-3).

Para determinar la zona en el que el 90% de los ocupantes estarán en temperatura interior de confort, se incrementa y resta 2.5°C a la temperatura promedio mensual.(Nicol, Humphreys, & Roaf, 2012). Para definir la aceptabilidad, se asumen las sensaciones térmicas cercanas al estado neutro, entre +1 y -1, como estado de confort, a partir de la literatura especializada en el tema (Hwang, R. L., et al., 2006; Wong, N. H., & Khoo, S. S., 2003; Zhang, G., Zheng, et al., 2007). Asimismo, el porcentaje de personas insatisfechas (PPD), se determina por las personas cuyo voto se encuentra en las escalas -3, -2 y +2, +3 (ASHRAE, 2017, p. 39).

Para el análisis de la iluminación se considera la iluminancia (lux) sobre el puesto de trabajo, y el coeficiente de luz diurna (CLD) como un valor relativo entre la iluminancia interior y la exterior que determina la calidad lumínica de la envolvente edilicia. Otros estudios involucran modelos dinámicos del comportamiento anual, a través de herramientas de análisis predictivo como DIVA, la cual integra iluminancia y consumo energético (Monteoliva & Pattini, 2013).

RESULTADOS

Confort Térmico

Las condiciones climáticas de Cali, propias de una situación tropical, son estables a lo largo del año, con variaciones diarias, y periodos lluviosos (marzo a mayo y octubre-noviembre) y Seco (junio a septiembre y diciembre a febrero) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia- IDEAM). La temperatura media Anual es de 24.0°C ; máxima. media de 30.3°C y mínima media de 19.0°C . Los datos recabados en las mediciones arrojan un pequeño aumento en relación a los datos estadísticos de los últimos 10 años, de $+0.7^{\circ}\text{C}$ en marzo (lluvioso) y de $+2.0^{\circ}\text{C}$ para agosto (seco). En cuanto a la humedad relativa, mientras el IDEAM registra un promedio de 72.2% en marzo (lluvioso), la HR fue de 69.8%, y en el mes de agosto (seco) de 52.2%, con un máximo de 95.2% y un mínimo de 28.5%, respectivamente. Si bien los datos anteriores permiten explicar la homogeneidad anual de la temperatura y la humedad relativa en Cali, son las variaciones diarias las que imprimen diversidad e implican el uso de diferentes estrategias arquitectónicas (Tabla 1 y Figura 2).

(%)	ESTRATEGIA ASHRAE HANDBOOK, 2005	
1	43.2%	Enfriamiento por Ventilación forzada
2	35.7%	Deshumidificación
3	33.0%	Ventilación por estrategias adaptativas
4	31.3%	Sombreado en ventanas
5	14.7%	Inercia térmica y ventilación selectiva
6	11.7%	Ganancia de calor interno
7	8.0%	Inercia térmica
8	5.9%	Enfriamiento y deshumidificación ocasional
9	5.9%	Enfriamiento evaporativo en dos etapas
10	4.9%	Ganancia solar directa e inercia térmica



Tabla 1: Estrategias de diseño para lograr 100% de confort durante el día. ASHRAE.

Figura 2: Carta psicrométrica y estrategias. Fuente: Clima Consultant

Análisis a partir del rango de confort

Las mediciones arrojaron una temperatura promedio de 24.6°C y 26.1°C en el mes lluvioso y seco respectivamente. Los rangos en los que el 90% de los ocupantes pueden estar en confort son para el mes lluvioso 22.1°C y 27.1°C y para el seco 23.6°C a 28.6°C. A partir del registro durante el mes de marzo (el cual es análogo en agosto), en la Figura 3 se muestran las temperaturas que permanecen dentro del rango resaltado (en las horas de la noche y madrugada), dejando por fuera las horas de la mañana y tarde, horas de uso de los espacios. Las temperaturas interiores más altas, se presentan en las aulas A1 y A2 y A5 y A6, por efecto de la radiación solar directa sobre la envolvente; mientras que las temperaturas al interior del aula A4 son las que menos incrementos registran, debido al efecto de la doble piel y el uso de la vegetación como protección (Figura 4).

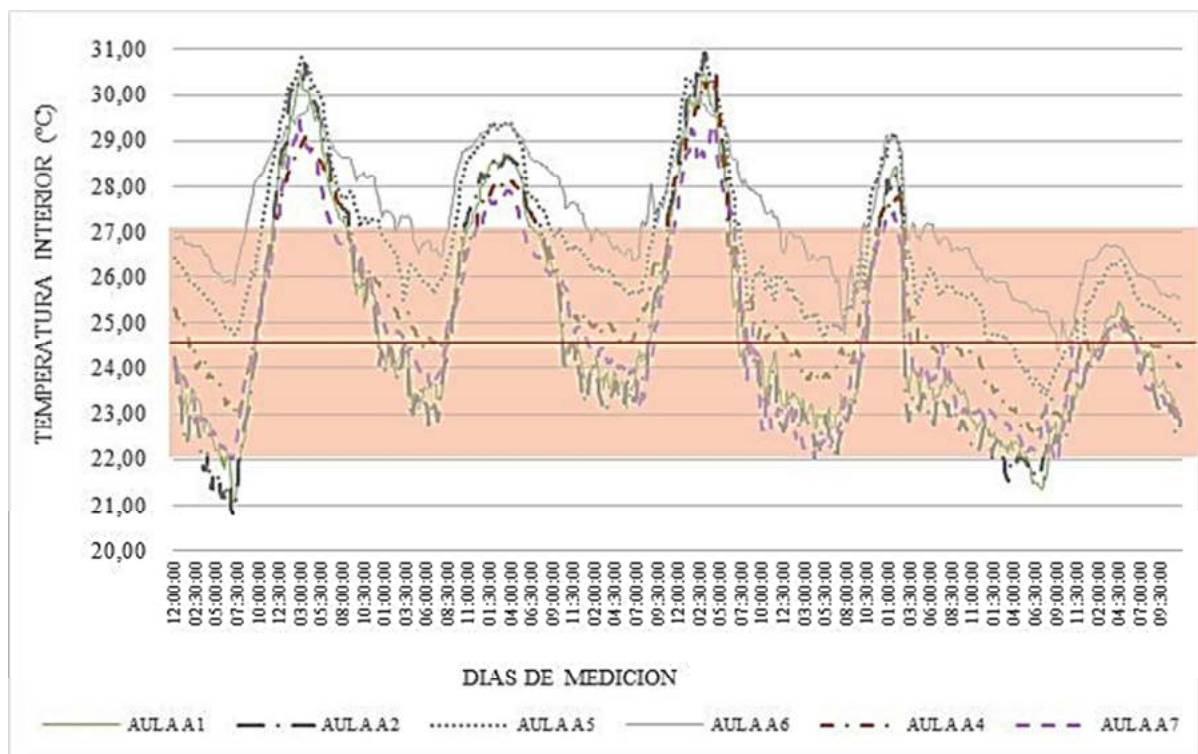


Figura 3: Temperatura interior de las aulas en los días típicos mes de marzo, con el rango de confort y la temperatura promedio mensual.

En el aula A4, las variaciones en la temperatura interior son moderadas, como resultado de estar en la planta baja, de la doble piel o envolvente que protege al espacio de la radiación solar directa, y del árbol que provee sombra, generándose una cámara de aire ventilada con la posibilidad de ventilación cruzada permanente durante el día y la noche en función de los calados en las dos fachadas opuestas (Figura 4).



Figura 4. Aula 4 (piso 1)

En las horas de la madrugada se registra una disminución de las temperaturas en las aulas A1 y A2, hasta de 2°C, y A7 de 1°C, con respecto a los demás colegios, debido a la influencia de las brisas frescas que bajan de la cordillera por la ladera para el caso del aula A7; y del límite urbano poco denso para el caso del aula A2, favoreciendo la ventilación cruzada permanente, ya que ambos colegios no poseen vidrios en las ventanas, (Figura 5) (Figura 6).

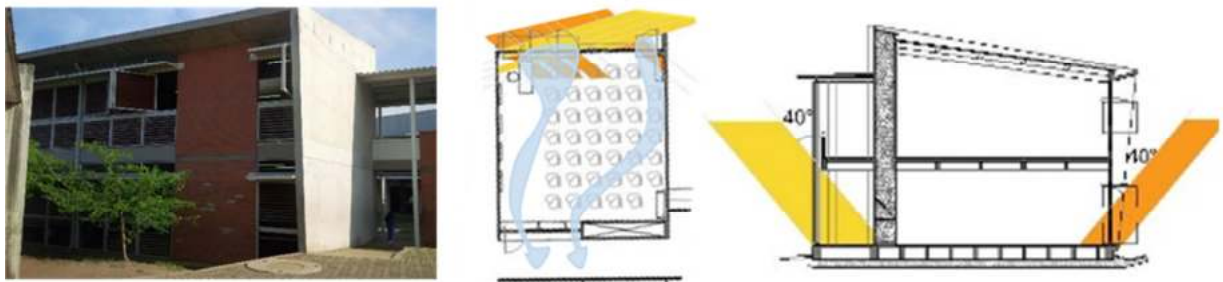


Figura 5: Aula 2 (piso 2)

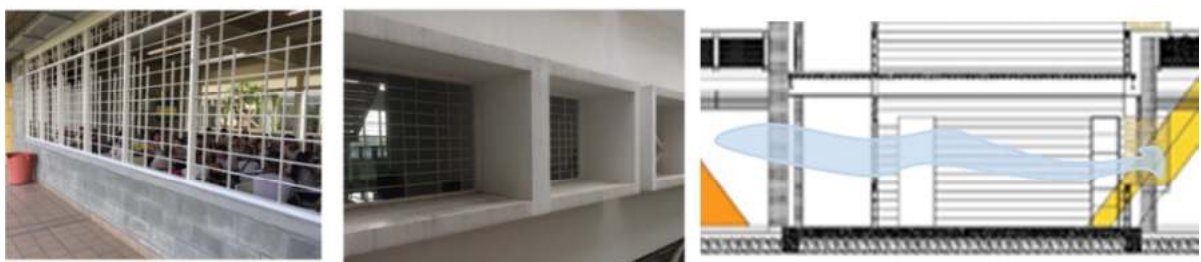


Figura 6: Aula 7 (piso 1)

Sin embargo, en las aulas A1 y A2 se eleva en 1°C la temperatura (Figura 5), al igual que en las aulas A5 y A6, (Figura 7), en donde el incremento alcanza los 2°C, y en la noche, solo bajan hasta los 24°C, frente a los 21°C logrados en el A2. El anterior comportamiento para el caso de A5 y A6, es consecuencia de la incidencia de la radiación solar en forma directa sobre las ventanas, orientadas al noroeste y sureste, como también de la limitada ventilación selectiva, consecuencia de las ventanas cerradas una vez finalizada la jornada, y de las insuficientes persianas de ventilación hacia el corredor.



Figura 7: Aula 6 (piso 3)

Análisis del confort térmico a partir de los votos de sensación térmica

De los 535 alumnos, 263 (49.1%) manifestaron estar confortables, (Tabla 2), mientras 272, (50.8%), se encontraron en *discomfort*, de los cuales: el 32.1% manifestaron estar en situación de frío, en su mayoría en las aulas A7 y A8 y el 18.7% por situación de calor en las aulas A1 y A2 y A5 y A6, en donde se registraron las mayores temperaturas. El modelo teórico de la norma, indica una aceptación de 80% y 90% frente a un 20% o 10% de personas insatisfechas en un espacio confortable. En la presente investigación, la mayoría de los votos (263) estuvieron en las tres escalas centrales (49.1%), sin embargo, el PPD superó los niveles recomendados, alcanzando el 50.8% (272 votos), valores que no permiten estimar la prevalencia en la situación de confort.

COLEGIO	ESCALA DE SENSACIÓN TÉRMICA							TOTAL
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
ISAIAS	2,0	29,0	13,0	27,0	21,0	19,0	11,0	122,0
NELSON	3,0	38,0	18,0	33,0	28,0	16,0	10,0	146,0
NUEVO L.	2,0	32,0	10,0	19,0	39,0	19,0	13,0	134,0
JUANA	29,0	37,0	9,0	23,0	23,0	10,0	2,0	133,0
TOTAL	36,0	136,0	50,0	102,0	111,0	64,0	36,0	535,0

Tabla 2: Consolidado total de los votos de sensación térmica en los dos periodos

Confort Visual

Las condiciones de iluminación exterior registradas, son similares en los dos meses de la auditoria, debido a que corresponden a fechas cercanas a los equinoccios. Sin embargo, en las aulas A1, A2, A3 y A4 (Figura 8), el comportamiento es análogo por debajo de los 2.000 lux, mientras en las otras sobrepasan ese valor. En estas últimas, también se presentan valores (mínimos) por debajo de los recomendados (tabla 3).

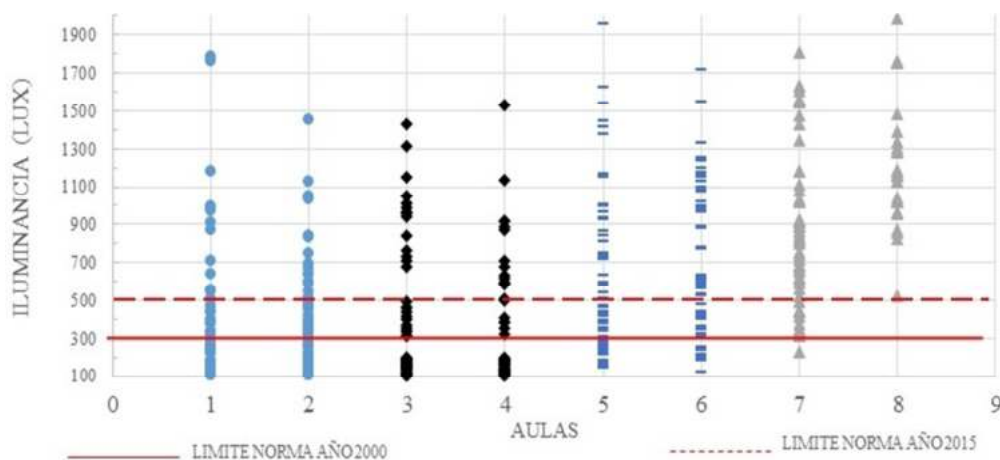


Figura 8: Mediciones de iluminancia (lux) en forma puntual sobre plano de trabajo (535 registros)

Las 4 primeras aulas A1 y A2, A3 y A4, tienen fachadas expuestas con mayor protección frente al impacto de la incidencia solar y su contacto visual con la bóveda celeste, en comparación con las A5, A6, A7 y A8 (Figura 9). Las A1 y A2 poseen persianas, mientras que las A3 y A4, una doble piel y un árbol que actúa como pantalla protectora (Figura 4). En marzo, como se muestra en la Tabla 3, en A2 el 33% del salón está por debajo de los 300 lux, y en A4 es el 81%, implicando que si bien la doble piel refuerza el sombreado y favorece la ventilación, limita en su diseño las condiciones de iluminación natural apropiadas dentro el aula. En A6 el 83% registró por encima de 500 lux, el 14% entre 500 y 300 Lux y solo el 2% por debajo de 300 lux. Esta última posee una iluminación lateral a partir de una ventana que ocupa el 100% de la fachada expuesta, con ingreso de luz directa, a la cual le han colocado cortinas oscuras para controlar los brillos molestos. El A9, posee iluminación bilateral logrando el 98% por encima de 500lux. Ambos salones presentan un alto grado de uniformidad, sin embargo, hay iluminancias excesivas cercanas a la envolvente (Figura 10). Por un lado, se reafirma lo acertado de contar con iluminación bilateral (aunque ventanas con fachadas sin suficiente protección solar implica iluminancias excesivas) y de tener colores claros al interior (algunos en muros y techo).



Figura 9: Interior de las aulas

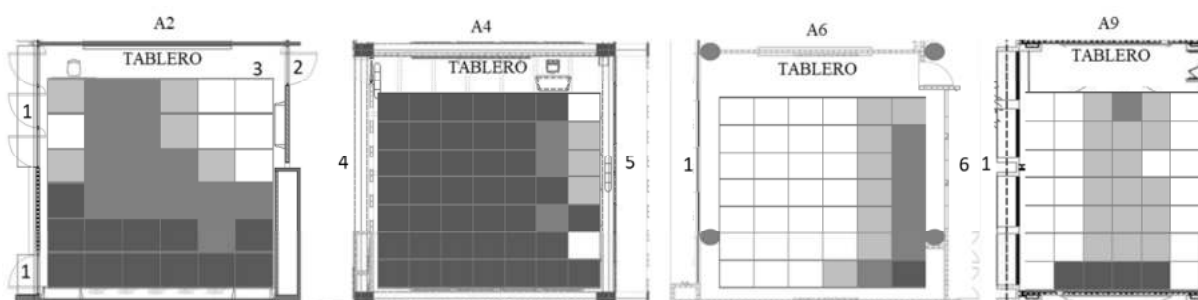


Figura 10: Iluminancia sobre puesto de trabajo en marzo (los colores corresponden a los rangos de la tabla 3). 1. Ventana; 2. Puerta con persiana abierta; 3. Tragaluz; 4. calados; 5. ventana hacia doble piel; 6. Persiana cerrada.

AULA	2	4	6	9
Porcentaje	%	%	%	%
INFERIOR A 300	33	81	2	0
ENTRE 500-300	36	7	14	3
ENTRE 750-500	3	7	19	45
SUPERIOR A 750	28	5	64	53

Tabla 3: Promedio Iluminancia y ubicación en el aula, días de la encuesta en marzo y agosto

A pesar de los bajos niveles de iluminancia (Tabla 3) y de su distribución en el aula (Figura 10), en A3 y A4, el 49% de los estudiantes consideran la iluminación como buena, y el 17% demasiada, evidenciando un cierto factor de acostumbramiento a condiciones desfavorables. El 82% manifestó la necesidad de encender las luces algunas veces durante el día, para equilibrar la baja iluminación natural. En ambas situaciones, las respuestas estuvieron distribuidas en todo el salón, sin relación directa con la ubicación en el aula (Figura 11).

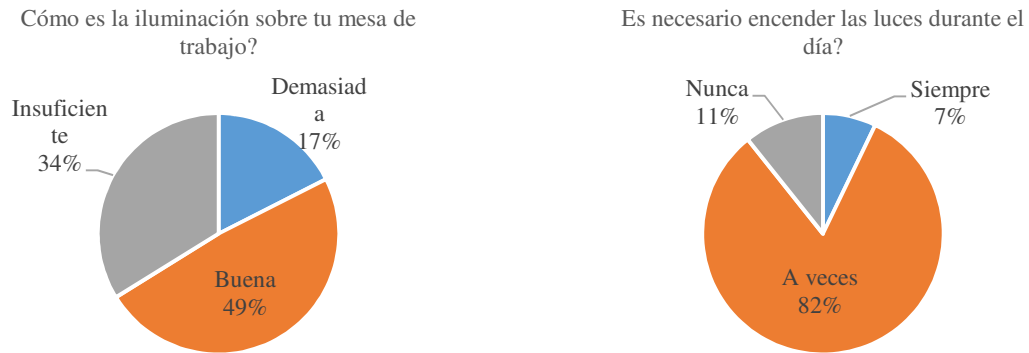


Figura 11: Opinión de la percepción de iluminación natural en el aula A3 y A4, meses de marzo y agosto

El Coeficiente de Luz Día (CLD) en las aulas A1 a A6, se registró por debajo del 2%, acorde con el valor mínimo establecido por la Norma NTC 4595, con excepción de las aulas A7 y A8, en las cuales se superará dicho umbral. (Figura 12).

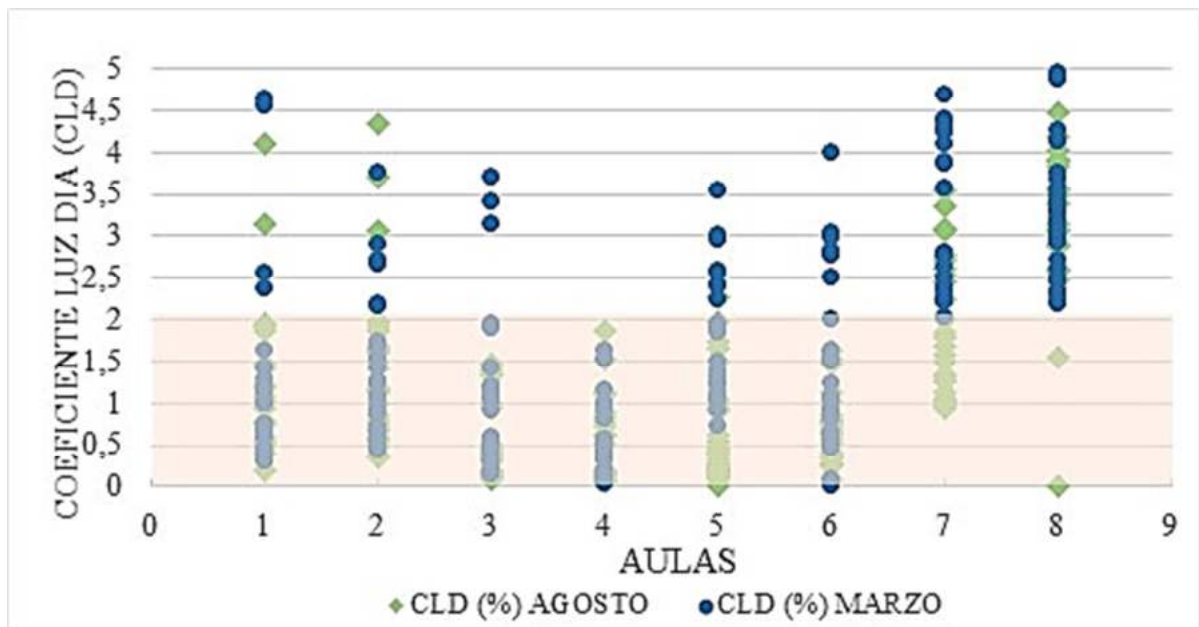


Figura 12: Coeficiente de Luz Día-CLD (%)

Confort Sonoro

Todas las aulas registraron una media energética del nivel sonoro continuo equivalente con la ponderación A (ruido de fondo) de 74.9 dB, sobrepasando los dos límites definidos por la norma en el año 2000 y 2015 establecidos en 40 y 45 dB, respectivamente (Figura 13). En cuanto al tiempo de reverberación, los valores registrados superaron el promedio de 1.22 segundos, cuando el rango permitido por la norma está entre 0.90 y 1.0.

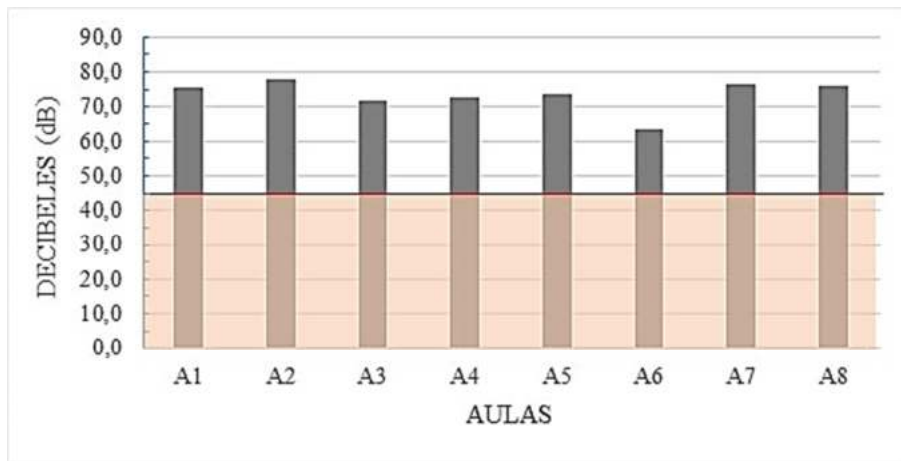


Figura 13: Media energética del nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A

Si bien las aulas A5 y A6 tienen la posibilidad de cerrar las ventanas durante la jornada de clase y siendo las más “herméticas” del estudio, presentan niveles de ruido de fondo (media energética de 70.9 dB) que sobrepasan -al igual que en las demás- los máximos recomendados por la norma. Las A7 y A8 registraron los valores más altos, con una media energética de 76.3 dB, lo que evidencia el impacto de grandes vanos en las dos caras expuestas del aula. Las aulas mencionadas anteriormente, se encuentran en situaciones externas ruidosas: debido a cercanía vía principal, zona comercial y plaza de mercado (esta última solo para las A7 y A8). Las demás se encuentran en zonas de bajo ruido, residencial (A3 y A4), y en el límite de la ciudad (A1 y A2). Como se puede observar, el tema acústico es uno de los temas más sensibles del confort, ya que todos los valores exceden los límites recomendados. Esta conclusión es similar a estudios realizados en otros países latinoamericanos como: Argentina, Chile, Costa Rica, República Dominicana y Colombia (San Juan, Hoses, Martini, 2014).

CONCLUSIONES

La implementación de metodologías analíticas objetivas y subjetivas, permiten profundizar en el estudio del confort ambiental, o confort global (higro-térmico, visual y acústico) para poder establecer la relación entre los diferentes temas en la particularidad de cada caso.

El confort térmico bajo el modelo analítico, predijo una sensación térmica más cálida a la percibida por los estudiantes. Por otro lado, bajo el modelo adaptativo los resultados arrojaron una aceptabilidad mucho más baja, del 50.84%, frente al 80% recomendado, siendo inaplicables estos dos modelos en los casos de estudio.

En cuanto a la iluminación interior, se registran niveles insuficientes y falta de uniformidad en relación directa con el resultado del diseño de la fachada expuesta. El diseño referido a la uniformidad y niveles aceptables deriva de la adopción de fuente bilateral, y control/difusión a partir del diseño de la fachada expuesta.

En el tema del confort sonoro, todas las aulas registraron valores de ruido de fondo promedio superiores a los 70 dB, sobrepasando los límites definidos por la norma de 45 dB (NTC 4595), resultado de envolventes muy permeables para favorecer la ventilación cruzada; la que, además, no garantiza las temperaturas al interior dentro de los rangos de confort local.

Para alcanzar aulas en situación tropical-ecuatorial con calidad ambiental aceptable, es necesario aplicar estrategias proyectuales en relación al clima local y a la situación específica del proyecto, tales como aislamiento térmico, ventilación selectiva nocturna, mayor exploración de elementos de protección solar, y de los acabados interiores, para favorecer las condiciones lumínicas, además de un mayor abanico de materiales y posibilidades de adaptación acústica de los espacios, inexploradas en los cuatro casos del estudio.

Es necesario profundizar en estudios que se basen en análisis ambientales como el expuesto en el presente trabajo, simulaciones en estado estacionario o dinámico, y trabajo en terreno, que permitan una mayor comprensión de la relación entre las estrategias de diseño y su implicancia en el confort, como también, de la normativa local y los efectos de la misma en la calidad de los espacios para la enseñanza y aprendizaje.

REFERENCIAS

- Arango Díaz, L., Giraldo Vásquez, N., Cano Valencia, L., & Arenilla Cuervo, A. (2013). *Revisión de las recomendaciones sobre comodidad visual en ambientes escolares descritas en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595*. Dearq. Revista de Arquitectura, (13), 214-229.
- ASHRAE Standard (2010). 55 (2010). *Thermal environmental conditions for human occupancy*, 9-11
- ASHRAE Standard (2017). 55 (2017). *Thermal environmental conditions for human occupancy*.
- Baruah, P., Singh, M. K., & Mahapatra, S. (2014). *Thermal comfort in naturally ventilated classrooms*. In 30th International Plea Conference. Ahmedabad (pp. 1-8).
- Chiang, C. M., & Lai, C. M. (2008). *Acoustical environment evaluation of Joint Classrooms for elementary schools in Taiwan*. Building and Environment, 43(10), 1619-1632.
- García, V. I., Cáceres, C. A. H., & Peña, M. E. R. (2016). *Confort ambiental en escuelas públicas de Cali*. Universidad del Valle, Programa Editorial.
- Hwang, R. L., Lin, T. P., & Kuo, N. J. (2006). *Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan*. Energy and Buildings, 38(1), 53-62.
- Hwang, R. L., Lin, T. P., Chen, C. P., & Kuo, N. J. (2009). *Investigating the adaptive model of thermal comfort for naturally ventilated school buildings in Taiwan*. International journal of bio Meteorology, 53(2), 189-200.
- James, A.-D., & Christian, K. (2012). *An assessment of thermal comfort in a warm and humid school building at Accra, Ghana*. Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research, 3(1), 535-547.
- Kwok, A. G., & Chun, C. (2003). *Thermal comfort in Japanese schools*. Solar Energy, 74(3), 245-252.
- Ledesma, S. L., Gonzalo, G. E., Cisterna, M. S., Márquez Vega, S. G., Quiñones, G. I., & Nota, V. M. (2004). Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en San Miguel de Tucumán. *Revista AVERMA*, 8, 05-55.
- Liang, H. H., Lin, T. P., & Hwang, R. L. (2012). *Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings*. Applied Energy, 94, 355-363.
- Mastroiizzi, J. A., Montes, C., Amura, S., & Mastroiizzi, M. A. (n.d.). Guimaraes Portugal. *Estudio y pautas para el acondicionamiento acústico de aulas de edificios para la educación*, 1-8.
- Medina Valdez, A. *La calidad acústica arquitectónica el ambiente acústico en edificios escolares de nivel superior* (Disertación doctoral).
- Monteoliva, J. M., & Pattini, A. (2013). *Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en climas soleados*. Ambiente Construido, 13(4), 235-248.
- Murillo, F. J., & Martínez-Garrido, C. (2012). *Influence of the environmental conditions and academic performance in the Primary Education classrooms of Iberoamerica*. Education policy analysis archives, 20, 18
- Nicol, F., Humphreys, M., & Roaf, S. (2012). *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. Routledge.
- NTC, N. T. C. (2006). 4595. *Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*.
- NTC, N. T. C. (2015). 4595. *Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*.
- NTC 5316: *Condiciones Ambientales Térmicas de Inmuebles para Personas*.
- Pattini, A. (2000). *Recomendaciones de Niveles de Iluminación en Edificios no Residenciales: una comparación internacional*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio ambiente, 4.
- San Juan, G., Hoses, S., Rojas, D., & Moreno, J. (1999). *Integración de la opinión de los usuarios en la evaluación ambiental de aulas escolares*. Avances en energías renovables y medio ambiente, ISSN, 0329-5184.
- 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).

- San Juan, G., Hoses, S., & Martini, I. (2014). *Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI. Nota 5: Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares.*
- Tablada, A., de la Peña, A., & De Troyer, F. (2005). *Thermal comfort of naturally ventilated buildings in warm-humid climates: field survey.* *Environmental Sustainability. The Challenge of Awareness in Developing Societies.* Proceedings of Passive Low Energy Architecture (PLEA), Beirut, (November), 191–196.
- Trebilcock, M., Bobadilla, A., Piderit, M., Guzmán, F., Figueroa, R., Muñoz, C. & Hernández, J. (2012). *Environmental performance of schools in areas of cultural sensitivity.* In Proceedings of PLEA 2012 (Passive Low Energy Architecture) Conference.
- Wong, N. H., & Khoo, S. S. (2003). Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and Buildings*, 35(4), 337–351.
- Wu, W., & Ng, E. (2003). *A review of the development of daylighting in schools.* *Lighting Research and Technology*, 35(2), 111–125.
- Zannin, P. H. T., & Zwirtes, D. P. Z. (2009). *Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools.* *Applied Acoustics*, 70(4), 626-635.
- Zhang, G., Zheng, C., Yang, W., Zhang, Q., & Moschandreas, D. J. (2007). Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region. *Indoor and Built Environment*.

ABSTRACT

The work presents the evaluation of the environmental quality (thermal, visual and acoustic) in relation to the norm, of the classrooms of four schools. The methodology used was of environmental audit, organized into two components: (i) objective, (measurements); and (ii) subjective, (perception survey). Likewise, the results were verified with local and international regulations. The results in terms of thermal comfort, show classrooms mostly in uncomfortable state. In the visual theme, insufficient natural lighting levels and lack of uniformity were recorded. Finally, the levels of background noise and reverberation time exceeded the normative limits for acoustic comfort, which are understood as the values needed to guarantee spaces with quality, for the learning activities inside the classrooms.

Key words: School classrooms, thermal, visual and acoustic comfort assessment, tropical climate.