

de-
arq

DEARQ - Revista de Arquitectura / Journal of
Architecture

ISSN: 2011-3188

dearq@uniandes.edu.co

Universidad de Los Andes
Colombia

Arango Díaz, Lucas; Giraldo Vásquez, Natalia; Cano Valencia, Laura; Arenilla Cuervo, Alexandra
Revisión de las recomendaciones sobre comodidad visual en ambientes escolares descritas en la
Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595

DEARQ - Revista de Arquitectura / Journal of Architecture, núm. 13, diciembre, 2013, pp. 213-229
Universidad de Los Andes
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341630942018>

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

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Revisión de las recomendaciones sobre comodidad visual en ambientes escolares descritas en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595

A review of the recommendations on visual comfort in schools as described in the Colombian Technical Rule (NTC) 4595

Recibido: 1 de marzo de 2013. Aprobado: 29 de agosto de 2013

Lucas Arango Díaz

✉ lucas.arango.diaz@gmail.com

Arquitecto. MSc. Docente, Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia

Natalia Giraldo Vásquez

✉ ngiraldv@gmail.com

Arquitecta. MSc. Docente, Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia

Laura Cano Valencia

✉ lakri1602@gmail.com

Arquitecta, Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia

Alexandra Arenilla Cuervo

✉ katacu.8@gmail.com

Estudiante de Arquitectura, Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia

Resumen

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595 establece los lineamientos que deben seguir arquitectos e ingenieros en el diseño de ambientes escolares. Este artículo analiza los lineamientos indicados en el ítem 7.2 de la Norma, referido al tema de la comodidad visual. La metodología compara salones de clase hipotéticos, siguiendo las directrices indicadas en el numeral 7.2, y salones construidos y en funcionamiento de algunas instituciones ubicadas en la ciudad de Medellín, Colombia. Los resultados evidencian la necesidad de ajustar y hacer más precisos los parámetros establecidos en la NTC 4595, a fin de minimizar posibles imprecisiones en su interpretación.

Palabras clave: arquitectura, iluminación natural, comodidad visual, salones, NTC 4595.

Abstract

The Colombian Technical Rule (NTC) 4596 establishes the guidelines that architects and engineers should follow when designing school environments. This article analyses the guidelines described as per Item 7.2 of the Rule regarding visual comfort. The methodology compares hypothetical classrooms (following the directives as indicated by point 7.2) with the already constructed classrooms in educational facilities located in Medellín, Colombia. The results show the need to adjust and make clearer the parameters that have been established in the NTC 4595 in order to minimise the potential imprecise nature of their interpretation.

Key words: architecture, natural lighting, visual comfort, classrooms, NTC 4595.

Introducción

Ampliar y mejorar la cobertura y la calidad educativa en la ciudad de Medellín, Colombia, fueron los principales objetivos de las administraciones locales, entre 2005 y 2011. Estas fundamentaron sus proyectos de gobierno en la transformación social a partir de lemas como “Medellín la más educada” y “Educación para todos”. De esta forma, se fomentó la construcción o readecuación de instituciones educativas de carácter público, enfocadas en el aprovechamiento de los recursos.

Con el apoyo de instituciones privadas, la alcaldía de la ciudad formuló dos líneas de trabajo: la primera, para construir 10 instituciones educativas nuevas, y la segunda, para adecuar 128 infraestructuras educativas ya existentes (<http://www.medellin.edu.co>). La construcción de instituciones educativas de alta calidad (como parques, bibliotecas, jardines para la primera infancia, colegios de calidad y parques educativos) en sectores estratégicos de la ciudad y el departamento, así como el mejoramiento de la infraestructura de algunas instituciones ya existentes, han sido estrategias utilizadas por las administraciones mencionadas para promover la inversión social y educativa.

Estas instituciones albergan a niños, jóvenes y adultos durante largas jornadas, lo que las convierte en centros de congregación comunitaria y de mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades beneficiadas, lo que incentiva, además, los hábitos de estudio en los habitantes de los sectores más vulnerables de la ciudad.

Con estas largas jornadas, resulta pertinente preguntarse acerca del impacto de las características físicas del ambiente construido sobre aspectos comportamentales y procesos de aprendizaje ya que, tal como explica Kowaltowski,¹ además de las características típicas de la edad, el comportamiento humano se relaciona con el ambiente físico donde se desarrollan las actividades cotidianas. Según lo anterior, se asume que el mejoramiento de las características físico-espaciales de los ambientes es-

colares ejercerá un impacto positivo en los procesos de aprendizaje de los niños, jóvenes o adultos y, por consiguiente, en la calidad de la educación.

En Colombia, la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595 de 1999 establece los criterios que deben considerarse en la planeación y el diseño de los espacios físicos escolares, al hacer hincapié en “los temas de accesibilidad, seguridad y comodidad, desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, para generar así instalaciones con bajos costos de funcionamiento y mínimo deterioro del ambiente”.

Las directrices consignadas en la NTC 4595 procuran el mejoramiento de la calidad del servicio educativo, desde el punto de vista de las condiciones ambientales, estableciendo los requisitos mínimos con los que deben contar áreas físicas y dotaciones escolares. Según esta norma, todo su contenido está adaptado a las nuevas corrientes pedagógicas: “que postulan la formación armónica de la persona humana y que plantean el paso del modelo frontal maestro-alumno con el discurso de cátedra, a la dinámica socializada del taller, del seminario, donde el estudiante investiga y donde existen múltiples alternativas de ambiente pedagógico”.²

El capítulo 7 de esta norma, que “indica las características ambientales con las cuales es necesario proveer a los distintos espacios que conforman las instalaciones escolares para garantizar unas condiciones básicas de comodidad”, entiende la *comodidad en arquitectura* desde los parámetros térmico, visual y auditivo. Son estos tres parámetros sobre los cuales se desarrollan los tres subcapítulos de la NTC: 7.2, comodidad visual; 7.3, comodidad térmica, y 7.4, comodidad auditiva.

La comodidad visual alude a las condiciones de la iluminación del ambiente en el cual los usuarios desarrollan una tarea, y entiende por tarea la actividad y las exigencias visuales y lumínicas específicas que esta requiere (la cantidad de luz necesaria para escribir es diferente a la cantidad de luz necesaria para pasar un hilo por el ojo de una aguja, por ejemplo). El ambiente lumínico de un lugar es adecuado o no según diferentes factores, como:

1 Kowaltowski, *Arquitectura escolar*.

2 NTC 4595.

La iluminancia (lux). Se refiere a los niveles de iluminación que genera una fuente lumínica, sea natural o artificial. La iluminancia se define como la densidad del flujo luminoso que incide en una superficie.³

La distribución y uniformidad de la iluminancia. Alude a cómo esos niveles de iluminación están distribuidos en el espacio. Esta relación es la razón entre el máximo valor de la iluminancia que tiene la superficie de trabajo y el mínimo valor de la iluminancia en esa misma superficie. Para espacios de trabajo, la normativa internacional recomienda valores de uniformidad próximos a 0,8.⁴ Valores muy bajos en este parámetro indican grandes diferencias en los niveles de iluminación en un mismo espacio.

La luminancia. Hace referencia a la porción de luz que refleja una superficie, es decir, hace referencia al brillo aparente de los objetos.

Diferencia entre las luminancias. Se conoce comúnmente como contraste. Las actividades visuales se hacen más fáciles cuando el contraste entre el objeto de la tarea y su entorno inmediato es el adecuado. La Sociedad Norteamericana de Iluminación e Ingeniería (IESNA, por su sigla en inglés) recomienda la relación 1:3 entre la luminancia del objeto y el entorno inmediato.

El color. Se refiere a dos propiedades: la temperatura del color correlata (TCC) y el índice de reproducción del color (IRC). Cuando se dice que determinada fuente lumínica genera una luz cálida o fría, se habla de la TCC (la luz directa del sol tiene una TCC de aproximadamente 5600 °K). El IRC es la precisión con la cual una fuente reproduce los colores, en comparación con la luz natural.

Aunque estos parámetros de la iluminación ayudan a evaluar si un ambiente lumínico es adecuado o no para determinada actividad, hay otros factores que no dependen de la arquitectura o de la luz, pues las variables subjetivas como la edad, la salud visual o las preferencias personales modificarían en gran medida los factores técnicos.

En el subcapítulo 7.2, la NTC 4595 hace incapié en que “esta norma hace énfasis en la provisión de luz natural, de tal forma que durante la mayor parte de la jornada escolar puedan satisfacerse los requerimientos de iluminación sin necesidad de utilizar fuentes de iluminación artificial”. Ello limita la comodidad visual únicamente a la búsqueda de espacios energéticamente eficientes, ya que el único factor que contempla es la iluminancia que deben tener los ambientes escolares. Para alcanzar los niveles de iluminancia necesarios y minimizar el consumo de energía, en el ítem 7.2.2 son especificadas las áreas efectivas de aberturas de los ambientes escolares (tabla 1), en función de las condiciones climáticas del lugar donde esté localizada la institución educativa.

La tabla 2 presenta tres condiciones climáticas que considera la norma en el ítem 7.3.1; sin embargo, esta clasificación presenta rangos bastante amplios en las dos únicas variables climáticas que contempla (temperatura y humedad), lo cual dificulta la interpretación de las recomendaciones presentadas por la misma norma.

La información publicada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en Colombia (Ideam) propone 26 tipos de climas diferentes en el territorio nacional según la Clasificación Climática de Holdridge.⁵ Según el Ideam:

Medellín posee un clima templado seco. La temperatura promedio es de 21,5 °C. Al mediodía la temperatura máxima media oscila entre 26 y 28 °C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 17 y 18 °C. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 63 y 73%, siendo mayor en la época lluviosa del segundo semestre.⁶

De acuerdo con la descripción climática presentada por este instituto, la caracterización del clima de Medellín no corresponde con ninguno de los grupos climáticos propuestos por la NTC 4595 (tabla 2) y, por lo tanto, la escogencia del área efectiva de las aberturas se vuelve confusa.⁷

3 CIE, *International Lighting Vocabulary*; IESNA, *The IESNA Lighting Handbook*.

4 CIBSE, *Code for Interior Lighting*.

5 Ideam, *Clasificación climática*.

6 *Ibid.*

7 García, “Ajustes técnicos al diseño de aulas”.

Tabla 1. Área efectiva de ventanas

Clima	Área efectiva de la abertura
Templado y frío	1/3 del área del piso del espacio servido
Cálido seco	1/4 del área del piso del espacio servido
Cálido húmedo	1/5 del área del piso del espacio servido

Fuente: adaptada del ítem 7.2.2 de la NTC 4595.

Tabla 2. Condiciones climáticas

Clima	Temperatura	Humedad relativa
Moderado, templado y frío	Entre 5 y 22 °C, con variaciones marcadas entre el día y la noche	Entre 40 y 60 %
Cálido seco	Entre 5 y 35 °C, con cambios muy acentuados entre el día y la noche	Entre 10 y 60 %
Cálido húmedo	Entre 22 y 32 °C, con temperatura relativamente constante	Entre 40 y 60 %

Fuente: adaptada del ítem 7.3.1 de la NTC 4595.

Con relación a las obstrucciones y dirección de las aberturas, el ítem 7.2.8 de la NTC 4595 dice que, en caso de que las aberturas de los salones de clase no estén localizadas en planos con orientación nort-sur (con variaciones aceptables de $\pm 45^\circ$ para climas fríos), deben disponerse elementos de obstrucción solar (aleros o quiebrasoles). La adecuada selección o diseño de estos elementos también resulta ambigua, pues no son especificados los criterios para definir los ángulos de protección solar, y de esta manera no sobredimensionar los dispositivos, los cuales podrían disminuir en exceso la iluminación interior. En la Norma únicamente se establece que “se debe dotar a las aberturas con elementos de fachada, tales como aleros, persianas, aletas, etc. que obstruyan el paso directo de los rayos solares hacia los distintos espacios”. Paralelamente, el ítem 7.2.3 explica que en caso de utilizar elementos que obstruyan el paso de la luz, “el área de la abertura debe aumentarse a un 60%, en relación con lo dispuesto en el numeral 7.2.2”, sin ser especificado para qué tipo de obstrucciones esta anotación es pertinente.

Variaciones en el tamaño de las aberturas y de los dispositivos de control solar, así como su materialidad y disposición en el espacio, modifican sensiblemente la accesibilidad solar, la probabilidad de deslumbramiento⁸ y la admisión y distribución de la luz natural. A pesar de esto, con las indicaciones dispuestas en la norma estas variables no parecen ser consideradas.

No obstante, la última sección del capítulo de comodidad visual (ítem 7.2.12) indica que si a través de otros métodos de cálculo se garantiza que los salones de clase poseen niveles lumínicos semejantes o superiores a 300 lux, con un factor de luz día superior al 2% y adicionalmente una razón de uniformidad no inferior a 0,6, todas las directrices del ítem 7.2 de la Norma pueden ser sustituidas. Este lineamiento genera mayores imprecisiones, ya que no considera el exceso de luz y la accesibilidad solar como factores inconvenientes, indeseados o incómodos; tampoco es especificado el método de cálculo y, en caso de ser simulación computacional, no especifica el tipo de cielo⁹ ni las fechas y horas adecuadas para realizarlas.

Objetivo

El propósito de esta investigación es verificar, a partir de la comparación de datos, si la aplicación de los lineamientos establecidos en el numeral 7.2 de la NTC 4595, con relación a las áreas de aberturas, garantiza ambientes visualmente más cómodos que los generados a través de procesos de diseño convencionales. Las conclusiones obtenidas a través de esta investigación son un insumo importante que puede retroalimentar y actualizar las directrices contenidas en dicha Norma.

Metodología

Con el propósito de identificar y comparar las diferencias en el desempeño lumínico obtenido en distintos salones de clase que cumplen con algu-

8 El deslumbramiento es la sensación de molestia, incomodidad, pérdida del rendimiento visual o pérdida de visibilidad, producida cuando dentro del campo visual hay luminancias suficientemente mayores que las luminancias

para las cuales los ojos están adaptados. IESNA, *The IESNA Lighting Handbook*.

nas de las directrices consignadas en el ítem 7.2 de la NTC 4595, esta investigación fue desarrollada en tres etapas.

En la etapa 1 se compararon cuatro modelos hipotéticos, de iguales proporciones pero con fachadas diferentes. Los modelos cumplen con todas las directrices del ítem 7.2 de la norma estudiada. Esas comparaciones se realizaron mediante el análisis de simulaciones computacionales para diferentes horas del día y haciendo uso de dos tipos de cielo.

En la etapa 2 se comparó el desempeño lumínico de cinco salones de clase de secundaria en una institución educativa de carácter privada, localizada al sur de la ciudad de Medellín. Ninguno de ellos cumple con todos los requerimientos que expone el ítem 7.2 de la norma estudiada. Estas comparaciones también se realizaron a partir de simulaciones computacionales con los mismos horarios y cielos de la etapa anterior.

Finalmente, con el objetivo de verificar si los salones que cumplen con todas las directrices consignadas en la norma poseen mejor desempeño lumínico que los que no atienden todos los requerimientos de la norma, en la etapa 3 se compararon los resultados obtenidos en las etapas anteriores.

A fin de facilitar las comparaciones en cada una de las etapas, los datos resultantes de las simulaciones se procesaron en tablas en las que se muestra la distribución del área del plano de trabajo en rangos según el nivel lumínico (tabla 3). Adicionalmente, en las etapas 2 y 3, las tablas comparativas incluyen la identificación de la cantidad de parámetros de la norma que se cumplen por cada modelo.

Etapa 1

En esta etapa se realizaron cálculos sobre cuatro salones hipotéticos que cumplen con todos los requisitos de la Norma. Los salones, de igual tamaño pero diferente orientación, poseen variaciones en las fachadas. Cada uno fue simulado en el *software* Dialux 4.10. En el programa se llevaron a cabo modifica-

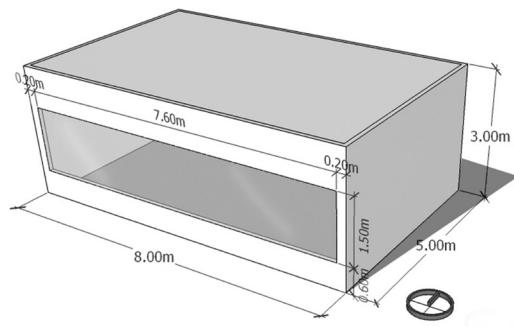


Figura 1. Modelo de salón hipotético

ciones del tipo de cielo y horarios. Todas las simulaciones se realizaron para el día 21 de septiembre.

Modelo del salón

En la primera etapa de esta investigación se utilizó un tipo de salón rectangular ($5 \times 8 \times 3$ m) (fig. 1) en dos orientaciones. Las orientaciones, con relación al plano de la fachada evaluada (uno de los lados más largos), fueron sur y oeste.

Tipos de fachadas

A fin de cumplir con los lineamientos de la Norma, en el modelo orientado al sur fue especificada una ventana, con vidrio claro, de $1,50 \times 7,60$ m.¹⁰

Para los modelos con la fachada orientada hacia al oeste fueron consideradas las variaciones sugeridas por la norma en el numeral 7.2.3 y 7.2.8, y resultaron las siguientes modificaciones: 1) uso de elementos de sombra y 2) aumento en el área de abertura en un 60%. Los cuatro modelos evaluados se muestran en la tabla 3.

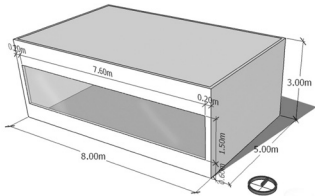
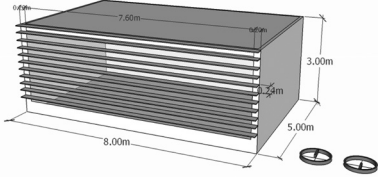
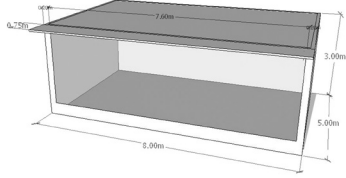
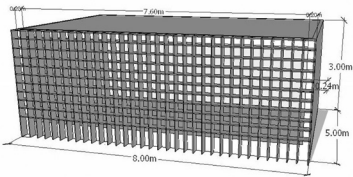
Dialux

Para las simulaciones fue utilizado el programa Dialux 4.10. Con el fin de comparar el desempeño lumínico a lo largo del día, se seleccionaron diferentes horarios (9:00, 11:00, 13:00 y 15:00 horas), bajo dos tipos de cielo: despejado y parcialmente nublado. Todos los modelos evaluados incluyeron el mobili-

9 La Comisión Internacional de Iluminación (CIE, por su sigla en francés), en la ISO 1546:2004, establece quince modelos teóricos de cielo, los cuales presentan diferentes condiciones en la distribución de las luminancias.

10 Según la NTC 4595, las aberturas para acceso de luz deben totalizar un área efectiva equivalente a $1/3$ del área del piso del espacio servido en climas templado y frío. Medellín posee un clima templado seco según el Ideam.

Tabla 3. Modelos de salones hipotéticos

Id. del modelo	Modelo	Descripción
F1		Fachada orientada al sur. El área de la ventana corresponde a la tercera parte del área del piso
F2		Fachada orientada al oeste. Fachada con elementos de sombra horizontales de 50 cm de ancho, separados cada 50 cm
F3		Fachada orientada a oeste. Fachada con elementos de sombra horizontales y verticales, de 50 cm de ancho, separados cada 50 cm
F4		Fachada orientada a oeste. Fachada con un solo elemento de protección solar, de 75 cm de ancho, localizado en la parte superior

rio típico de salones de clase. Todas las simulaciones consideraron un plano de trabajo de 0,7 m, que es la altura típica de las mesas. En total, en la etapa 1 se realizaron 8 simulaciones.

Nomenclatura

Para facilitar la identificación de los salones hipotéticos, se propuso un sistema de nomenclatura compuesto por tres datos:

- Modelo: F1, F2, F3 o F4 (tabla 3).

- Hora: 9:00, 11:00, 13:00 y 15:00.
- Tipo de cielo: D, para cielo despejado, y PN, para cielo parcialmente nublado.

Por ejemplo: F1_9:00_D hace referencia a la simulación del modelo orientado al sur, a la las 9:00 horas, con cielo despejado.

Procesamiento de datos

Los datos resultantes de las simulaciones se procesaron en tablas, las cuales muestran, por rangos, la

distribución del promedio del área estudiada según el nivel lumínico (tabla 4). Adicionalmente se calculó el valor de uniformidad lumínica en cada una de las simulaciones.

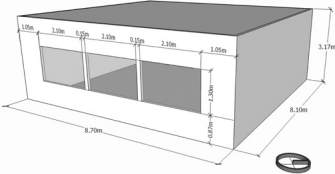
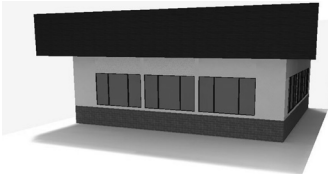
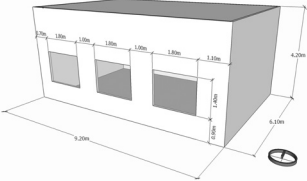
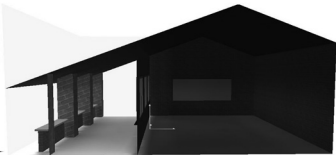
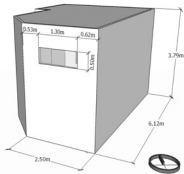
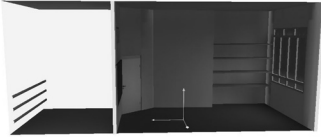
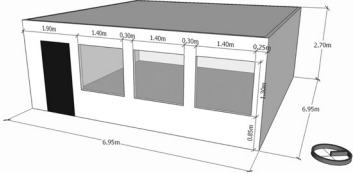
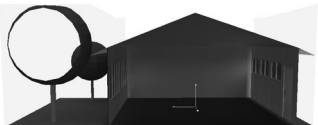
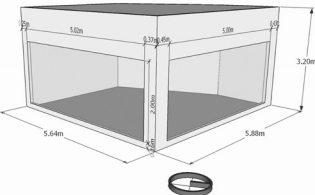
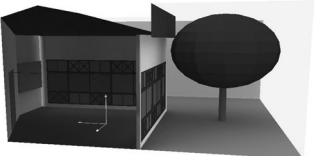
La uniformidad se calculó con base en la ecuación (fórmula para hallar la uniformidad) y los datos se contrastaron a través de tablas.

$$\text{Uniformidad} = \text{Iluminancia mínima} / \text{Iluminancia media}$$

Tabla 4. Rangos niveles lumínicos

Lux	Rango
Mayor de 2000	Excesivo
1000-2000	Límite excesivo
500-1000	Suficiente
300-500	Aceptable
Menor de 300	Insuficiente

Tabla 5. Modelos de salones existentes

Id. del modelo	Modelo	Descripción
S12		
S42		
S66		
S56		
S77		

Etap 2

En la etapa 2 se hicieron los cálculos lumínicos de 5 salones construidos y en funcionamiento, localizados en dos instituciones de la ciudad de Medellín (tabla 5). Un análisis previo permitió verificar cuáles ítems del numeral 7.2 de la NTC 4595 fueron o no atendidos. Posteriormente, fueron realizadas simulaciones para el día 21 de septiembre de 2012, en los mismos horarios evaluados en la etapa 1 y bajo los dos tipos de cielo también evaluados en la etapa anterior: cielo parcialmente nublado y cielo despejado. En total se realizaron 40 simulaciones.

Nomenclatura

Para facilitar el reconocimiento de los salones construidos fue utilizado el mismo método que en la nomenclatura de la etapa 1.

Simulación y procesamiento de datos

Las simulaciones se llevaron a cabo con los mismos parámetros descritos de la etapa 1. De igual forma, ocurrió con el procesamiento de datos (tabla 5).

Etap 3

Con el objetivo de verificar si los salones hipotéticos, que cumplen con todas las directrices consignadas en la Norma, poseen mejor desempeño lumínico, se compararon los resultados obtenidos en las dos etapas anteriores, por medio de tablas (tabla 6). Cada una está compuesta por varias columnas: la primera corresponde a los parámetros de evaluación y las siguientes a cada uno de los modelos evaluados en las dos primeras etapas. En la tabla 6 se presentan dos ejemplos (eje 1 y eje 2). La columna de cada uno de estos modelos está subdividida en 3 partes:

Tabla 6. Modelo tabla comparativa

		Eje 1			Eje 2		
		Si	No	Val	Si	No	Val
1	Iluminación natural + iluminación artificial	1	-	-	1	-	-
2	Orientación + dispositivo de control solar (si es necesario)	1	-	-	1	-	-
	= Orientación	-	-	250°	-	-	90°
3	Área total de piso	-	-	40	-	-	40
	Área total de abertura	-	-	11,4	-	-	18,24
	Área abertura equivalente a 1/3 + 60% (si es necesario)	1	-	-	1	-	-
	Área abertura equivalente a 1/4 + 60% (si es necesario)	-	-	-	-	-	-
	Área abertura equivalente a 1/5 + 60% (si es necesario)	-	-	-	-	-	-
	Otro	-	-	-	-	-	-
4	Espacios exteriores no menores a 3 × 3	1	-	-	1	-	-
5	Profundidad de más de 6 m. Con adecuada iluminación	1	-	-	1	-	-
6	Pisos 15-30%	0	1	-	1	-	-
7	Paredes diferentes a aberturas 50-70 %	1	-	-	1	-	-
8	Paredes aberturas y frente 74% o mayor	1	-	-	1	-	-
9	Cielo raso 80% o mayor	1	-	-	1	-	-
Parámetros que cumple o no		8	1		9	0	
10	Prom. área mayor de 2000 lux			17%			0%
11	Prom. área 1000-2000 lux			33%			24%
12	Prom. área 500-1000 lux			43%			37%
13	Prom. área 300-500 lux			7%			39%
14	Prom. área menor de 300 lux			0%			0%
15	Prom. uniformidad			0,26			0,34

sí, no y valor. Las dos primeras hacen referencia al cumplimiento, o no, de los parámetros de la norma dispuestos en la primera columna, mientras que la tercera hace referencia a la inclusión de un valor cuando necesario.

De los parámetros de evaluación mencionados, los primeros 9 se refieren directamente a la norma estudiada. Después de esta lista aparecen resaltados en azul, la cantidad de parámetros de la norma que el modelo cumple e incumple. Los parámetros 10 al 14 hacen referencia a los promedios de áreas de los salones que poseen niveles lumínicos mayores de 2000 lux, entre 1000 y 2000 lux, entre 500 y 1000 lux, entre 300 y 500 lux y menores de 300 lux. Finalmente, el parámetro 15 alude al promedio del valor de uniformidad.

Resultados y discusiones

Etapla 1

Para facilitar la comparación y discusión de los resultados, se construyeron tablas que muestran los datos de las simulaciones organizados en columnas

según la hora y el tipo de cielo (tablas 7 a 10). Para cada condición de cielo y en cada horario evaluado está resaltado el mayor porcentaje de área de piso y el rango de nivel lumínico en el cual se encuentra.

En el modelo F1 con cielo despejado (diagnóstico) se observa que durante la mayoría del tiempo en el día simulado, la mayor parte del área del salón posee iluminancias entre 300 y 2000 lux. Sin embargo, la gran variación de estos valores afecta la uniformidad de los ambientes.

En el modelo F2, la orientación y el dispositivo de sombra empleado reducen los niveles lumínicos y mejoran la uniformidad del ambiente luminoso en la mayoría de las horas evaluadas. Durante las horas de la mañana y bajo cielo despejado (F2_9:00_D y F2_11:00_D) los resultados de los niveles lumínicos son aceptables (mínimo 300 lux); mientras que en las horas de la tarde (F2_13:00_D y F2_15:00_D) los niveles lumínicos varían entre suficientes y límite excesivo. Ya para el modelo con cielo parcialmente nublado, los resultados muestran grandes áreas del salón con insuficiencia lumínica. En la mayoría de los casos del modelo F2 el valor de uniformidad no supera el 0,6 pedido por la Norma.

Tabla 7. Comparativo modelo F1

Salón F1 hipotético (Área = 40 m²)	F1_9:00_D (%)	F1_11:00_D (%)	F1_13:00_D (%)	F1_15:00_D (%)	F1_9:00_PN (%)	F1_11:00_PN (%)	F1_13:00_PN (%)	F1_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	19	21	11	17	27	16	18	25
1000-2000 lux	23	33	46	28	13	18	9	29
500I-1000 lux	51	45	40	38	36	13	27	18
300I-500 lux	7	0	3	17	23	25	28	26
Menor de 300 lux	0	0	0	0	1	28	18	2
Uniformidad	0,28	0,25	0,25	0,25	0,23	0,19	0,17	0,17

Tabla 8. Comparativo modelo F2

Salón F2 hipotético (Área = 40 m²)	F2_9:00_D (%)	F2_11:00_D (%)	F2_13:00_D (%)	F2_15:00_D (%)	F2_9:00_PN (%)	F2_11:00_PN (%)	F2_13:00_PN (%)	F2_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	0	0	0	0	0	16	0	0
1000-2000 lux	0	0	22	74	0	0	0	0
500-1000 lux	0	46	78	27	0	31	25	39
300-500 lux	100	55	0	0	45	24	75	61
Menor de 300 lux	0	0	0	0	55	29	0	0
Uniformidad	0,55	0,51	0,17	0,13	0,38	0,32	0,27	0,34

Tabla 9. Comparativo modelo F3

Salón F3 hipotético (Área = 40 m²)	F3_9:00_D (%)	F3_11:00_D (%)	F3_13:00_D (%)	F3_15:00_D (%)	F3_9:00_PN (%)	F3_11:00_PN (%)	F3_13:00_PN (%)	F3_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	0	0	0	0	0	0	0	0
1000-2000 lux	0	0	0	27	0	0	0	0
500-1000 lux	0	0	52	74	0	0	0	0
300-500 lux	0	59	48	0	0	0	40	100
Menor de 300 lux	100	41	0	0	100	100	60	0
Uniformidad	0,78	0,74	0,65	0,64	0,69	0,71	0,67	0,67

Tabla 10. Comparativo modelo F4

Salón F4 hipotético (Área = 40 m²)	F4_9:00_D (%)	F4_11:00_D (%)	F4_13:00_D (%)	F4_15:00_D (%)	F4_9:00_PN (%)	F4_11:00_PN (%)	F4_13:00_PN (%)	F4_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	0	0	45	78	9	4	26	58
1000-2000 lux	35	20	55	23	25	17	28	42
500-1000 lux	65	53	0	0	39	30	47	0
300-500 lux	0	27	0	0	27	41	0	0
Menor de 300 lux	0	0	0	0	0	7	0	0
Uniformidad	0,55	0,54	0,48	0,15	0,41	0,40	0,35	0,39

Los resultados de las simulaciones para el modelo F4 muestran una fuerte tendencia a niveles lumínicos excesivos, principalmente en las horas de la tarde. En las horas de la mañana, los niveles lumínicos alcanzados son suficientes.

Bajo los dos tipos de cielo evaluados, los resultados de las simulaciones muestran cómo los niveles lumínicos alcanzados en las horas de la mañana y en las horas de la tarde varían. En todos los casos, en las horas de la mañana los resultados muestran el total del área, o la mayoría, con niveles lumínicos insuficientes; mientras que en las horas de la tarde, cuando se corre el riesgo de que existan bloqueos de las aberturas por parte de los usuarios con el objetivo de evitar la ganancia solar excesiva, las simulaciones muestran niveles lumínicos en el rango de suficiencia. Es decir, la adecuada orientación de las aberturas es fundamental para alcanzar los niveles lumínicos adecuados para generar ambientes visualmente

cómodos y minimizar el consumo de energía, debido al uso excesivo de iluminación artificial.

Etapa 2

Para analizar los salones construidos, se utilizaron tablas similares a las de la etapa anterior (tablas 11 a 15).

En términos generales, la mayor parte del área de los salones evaluados tiende a permanecer con niveles lumínicos de entre 1000 y 2000 lux, es decir, la mayor parte del área permanece en el límite de la iluminancia excesiva. En la mayoría de esos salones, se puede observar un mejor desempeño lumínico frente a condiciones de cielo parcialmente nublado. Únicamente el modelo S42 presenta casi la totalidad de su área con niveles lumínicos insuficientes durante todo el tiempo. Adicionalmente, se observa que en todos los casos, el valor de la uniformidad no cumple con el indicado en la normativa estudiada.

Tabla 11. Comparativo S12

Salón S12 (Área = 67,1 m²)	S12_9:00_D (%)	S12_11:00_D (%)	S12_13:00_D (%)	S12_15:00_D (%)	S12_9:00_PN (%)	S12_11:00_PN (%)	S12_13:00_PN (%)	S12_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	41	31	28	51	30	34	4	35
1000-2000 lux	55	65	69	46	59	57	55	58
500-1000 lux	0	0	0	0	7	5	27	3
300-500 lux	0	0	0	0	0	0	10	0
Menor de 300 lux	0	0	0	0	0	0	0	0
Uniformidad	0,12	0,58	0,62	0,67	0,46	0,47	0,51	0,48

Tabla 12. Comparativo S56

Salón S56 (Área = 46,5 m²)	S56_9:00_D (%)	S56_11:00_D (%)	S56_13:00_D (%)	S56_15:00_D (%)	S56_9:00_PN (%)	S56_11:00_PN (%)	S56_13:00_PN (%)	S56_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	25	19	14	17	18	21	20	18
1000-2000 lux	72	70	39	39	28	0	0	66
500-1000 lux	0	8	43	40	48	75	75	13
300-500 lux	0	0	0	0	3	1	1	0
Menor de 300 lux	0	0	0	0	0	0	0	0
Uniformidad	0,21	0,31	0,51	0,23	0,28	0,24	0,24	0,18

Tabla 13. Comparativo S77

Salón S77 (Área = 27,3 m²)	S77_9:00_D (%)	S77_11:00_D (%)	S77_13:00_D (%)	S77_15:00_D (%)	S77_9:00_PN (%)	S77_11:00_PN (%)	S77_13:00_PN (%)	S77_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	63	50	28	24	40	42	20	25
1000-2000 lux	37	50	72	76	45	42	31	41
500-1000 lux	0	0	0	0	14	16	19	20
300-500 lux	0	0	0	0	0	0	29	14
Menor de 300 lux	0	0	0	0	0	0	0	0
Uniformidad	0,27	0,43	0,40	0,47	0,32	0,27	0,24	0,24

Tabla 14. Comparativo S42

Salón S42 (Área = 54 m²)	S42_9:00_D (%)	S42_11:00_D (%)	S42_13:00_D (%)	S42_15:00_D (%)	S42_9:00_PN (%)	S42_11:00_PN (%)	S42_13:00_PN (%)	S42_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	0	0	0	0	0	0	0	0
1000-2000 lux	1	0	0	0	0	0	0	0
500-1000 lux	1	0	0	0	0	0	0	0
300-500 lux	0	0	0	0	1	1	0	2
Menor de 300 lux	97	97	98	97	97	96	98	96
Uniformidad	0,61	0,67	0,65	0,57	0,52	0,01	0,02	0,02

Tabla 15. Comparativo S66

Salón S66 (Área = 21,8 m²)	S66_9:00_D (%)	S66_11:00_D (%)	S66_13:00_D (%)	S66_15:00_D (%)	S66_9:00_PN (%)	S66_11:00_PN (%)	S66_13:00_PN (%)	S66_15:00_PN (%)
Mayor de 2000 lux	28	21	4	12	25	27	12	14
1000-2000 lux	72	68	42	37	65	54	22	41
500-1000 lux	0	8	42	25	8	15	10	26
300-500 lux	0	3	11	21	0	0	33	17
Menor de 300 lux	0	0	0	0	0	0	12	0
Uniformidad	0,34	0,33	0,40	0,30	0,30	0,43	0,29	0,30

Etapas 3

Para facilitar la comparación entre los salones hipotéticos y los salones construidos, se elaboró una tabla resumen, para cada tipo de cielo estudiado, que muestra los parámetros de cumplimiento de la norma y el desempeño lumínico de cada salón. Ese desempeño se muestra como la distribución promedio del área en los 5 rangos lumínicos establecidos en la tabla 3.

Con las condiciones de cielo despejado (tabla 16), los resultados de las simulaciones muestran grandes variaciones en el desempeño lumínico de los modelos. Si bien el modelo S42_D, cumple con menos parámetros de la Norma que el resto de modelos, es el que posee el peor desempeño lumínico. Los modelos S56_D y S66_D, que no cumplen con

algunos parámetros de la norma, presentan mejores desempeños que algunos de los modelos hipotéticos. Por ejemplo, el modelo F3_D, que a pesar del excesivo número de dispositivos de sombra cumple con todos los parámetros de la Norma, posee un 35% de área promedio con niveles lumínicos inferiores a 300 lux, es decir, insuficientes. Entre tanto, los modelos S56_D y S66_D no poseen áreas con niveles lumínicos en ese rango. Del mismo modo, estos dos modelos poseen áreas, con niveles lumínicos superiores a 2000 lux, menores que el modelo F4_D.


Por otro lado, únicamente el modelo F3_D posee un valor de uniformidad promedio acorde con lo exigido con la Norma. Esto se debe al papel de filtro lumínico que cumplen los dispositivos verticales y horizontales (tabla 16).

Tabla 16. Comparativo cielo despejado

	Salones hipotéticos												Salones reales																
	F1_D			F2_D			F3_D			F4_D			S77_D			S56_D			S12_D			S42_D			S66_D				
	Sí	No	Val	Sí	No	Val	Sí	No	Val	Sí	No	Val	Sí	No	Val	Sí	No	Val	Sí	No	Val	Sí	No	Val	Sí	No	Val		
1	Iluminación natural + iluminación artificial	1		1			1			1			1			1			1			1			1				
2	Orientación + dispositivo de control solar (si es necesario)	1		1			1			1			1			1			1			1			1				
3	= Orientación	-	180°	-	-	90°	-	-	90°	-	-	90°	-	-	98°	-	-	209°	-	-	29°	-	-	180°	-	-	240°		
	Área total de piso	-	40,0	-	-	40,0	-	-	40,0	-	-	40,0	-	-	27,9	-	-	45,2	-	-	69,7	-	-	53,1	-	-	21,8		
	Área total de abertura	-	11,4	-	-	18,2	-	-	18,2	-	-	18,2	-	-	11,7	-	-	9,3	-	-	22,0	-	-	6,3	-	-	5,9		
	Área abertura equivalente a 1/3 + 60 % (si es necesario)	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-		
	Área abertura equivalente a 1/4 + 60 % (si es necesario)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-		
4	Área abertura equivalente a 1/5 + 60% (si es necesario)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Otro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Espacios exteriores no menores a 3 × 3	1		1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-		
5	Profundidad de más de 6 m. Con adecuada iluminación	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-		
6	Pisos 15-30 %	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-		
7	Paredes diferentes a aberturas 50-70 %	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-		
8	Paredes aberturas y frente 74% o mayor	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-		
9	Cielo raso 80% o mayor	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-		
		9	0		9	0		9	0		9	0		9	0		7	2		7	2		4	5		3	6		3
10	Prom. área mayor de 2000 lux		17%			0%			0%			31%			41%			19%			38%			0%				16%	
11	Prom. área 1000-2000 lux		33%			24%			7%			33%			59%			55%			59%			0%				55%	
12	Prom. área 500-1000 lux		43%			37%			31%			30%			0%			23%			0%			0%				19%	
13	Prom. área 300-500 lx		7%			39%			27%			7%			0%			0%			0%			0%				9%	
14	Prom. área menor de 300 lx		0%			0%			35%			0%			0%			0%			0%			97%				0%	
15	Prom. uniformidad		0,26			0,34			0,70			0,43			0,39			0,32			0,50			0,63				0,34	

Tabla 17. Comparativo cielo parcialmente nublado

	Salones hipotéticos												Salones reales															
	F1_PN			F2_PN			F3_PN			F4_PN			S77_PN			S56_PN			S12_PN			S42_PN			S66_PN			
	Si	No	Val	Si	No	Val	Si	No	Val	Si	No	Val	Si	No	Val	Si	No	Val	Si	No	Val	Si	No	Val	Si	No	Val	
1	Iluminación natural + iluminación artificial	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
2	Orientación + dispositivo de control solar (si es necesario)	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
	= Orientación	-	-	180°	-	-	-	-	90°	-	-	90°	-	-	-	98°	-	-	209°	-	-	29°	-	-	180°	-	-	240°
	Área total de piso	-	-	40,0	-	-	-	40,0	-	-	40,0	-	-	40,0	-	-	27,9	-	-	45,2	-	-	69,7	-	-	53,1	-	21,8
	Área total de abertura	-	-	11,4	-	-	-	18,2	-	-	18,2	-	-	18,2	-	-	11,7	-	-	9,3	-	-	22,0	-	-	6,3	-	5,9
3	Área abertura equivalente a 1/3 + 60% (si es necesario)	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
	Área abertura equivalente a 1/4 + 60% (si es necesario)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	
	Área abertura equivalente a 1/5 + 60% (si es necesario)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Otro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
4	Espacios exteriores no menores a 3 x 3	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
5	Profundidad de más de 6 m. Con adecuada iluminación	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
6	Pisos 15-30%	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
7	Paredes diferentes a aberturas 50-70 %	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
8	Paredes aberturas y frente 74% o mayor	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
9	Cielo raso 80% o mayor	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
		9	0		9	0		9	0		9	0		9	0		7	2		7	2		4	5		3	6	
10	Prom. área mayor de 2000 lux			22%			4%				0%			24%			32%			18%			24%			0%		20%
11	Prom. área 1000-2000 lux			24%			0%				0%			28%			40%			23%			57%			0%		45%
12	Prom. área 500-1000 lux			16%			24%				0%			29%			17%			53%			10%			0%		15%
13	Prom. área 300-500 lux			25%			51%				35%			17%			11%			1%			3%			1%		12%
14	Prom. área menor de 300 lux			12%			21%				65%			2%			0%			0%			0%			97%		3%
15	Prom. uniformidad			0,19			0,33				0,69			0,39			0,27			0,23			0,48			0,14		0,33

En términos generales, las simulaciones con cielo parcialmente nublado (tabla 17) arrojaron resultados en los que se evidencia que, en la mayoría de los casos, los modelos hipotéticos poseen mayores áreas con niveles lumínicos insuficientes que los modelos construidos. Sin embargo, estos modelos hipotéticos también poseen mayores áreas con niveles lumínicos de entre 300 y 500 lux y mayores a 2000 lux. Entre 500 y 2000 lux, los modelos hipotéticos poseen, en promedio, mayores áreas que los modelos construidos. 

Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue verificar si la aplicación de los lineamientos de comodidad visual, dispuestos en la NTC 4595, garantizan ambientes escolares con condiciones lumínicas más adecuadas que aquellos espacios que no tienen en consideración los parámetros de la normativa.

La metodología escogida consistió en comparar el desempeño lumínico de diversos salones de clase a través de la agrupación de áreas según los rangos de niveles lumínicos establecidos previamente. Dependiendo del tipo de cielo, los resultados muestran que no necesariamente la implementación de los lineamientos dispuestos en la norma garantizan la generación de un mejor ambiente lumínico. Por un lado, las imprecisiones de la Norma en cuanto a forma, tamaño, proporción y localización de los dispositivos de sombra generan polivalencias proyectuales que los arquitectos pueden interpretar de diversas maneras. Esta falta de claridad y especificidad en sus criterios pueden generar espacios excesivamente oscuros o espacios con niveles lumínicos bien distribuidos, como en el caso del modelo F3_D.

Por otro lado, la ambigüedad en la descripción de las condiciones climáticas locales y los lineamientos para la escogencia del área de abertura apropiada, desde el punto de vista lumínico, no garantiza que los ambientes visuales sean los adecuados, ya que no se hace ninguna reflexión acerca de la distribución de estas aberturas en toda el área de la fachada, la geometría de la planta de las aulas que favorece la uniformidad de los niveles lumínicos o el tipo de vidrio que posee mejor desempeño según las condiciones ambientales.

Adicionalmente, tal y como lo anuncia la misma Norma, en el capítulo de comodidad visual no se hace ninguna reflexión acerca de los cuidados que deben tenerse con la generación de brillos ni de los posibles bloqueos sobre las aberturas que podrían ser implementados por los usuarios cuando las condiciones de accesibilidad solar, independiente de la condición térmica, excedan el límite tolerable. Así mismo, en la Norma se desconocen los modelos de ocupación que pueden tener las aulas y tampoco hace anotaciones acerca de la posición del tablero o el mobiliario para aprovechar el recurso lumínico.

Factores adicionales que deben considerarse en el proceso de definición de las aberturas, y que la Norma trata de manera separada, son los relativos al confort térmico y acústico. Diferentes parámetros son señalados en cada uno de estos capítulos, pero en ningún momento se presentan de manera transversal al diseño de las aberturas de las fachadas, considerando las diferentes variables que involucra el diseño de los vanos.

Por estas razones, en esta investigación se concluye que, con el propósito de fortalecer de manera eficiente los procesos educativos desde el diseño arquitectónico debería revisarse la normativa de modo tal que se especifiquen y aclaren los criterios de medición o simulación de cada uno de las condiciones ambientales que intervienen en los espacios y se incluyan nuevos conceptos y métricas que ayuden a mejorar la calidad de los ambientes escolares.

Trabajo futuro

Para la elaboración de trabajos futuros relacionados con el tema expuesto en este artículo, los autores recomiendan explorar algunos caminos, a fin de optimizar los resultados. Por un lado, es importante realizar simulaciones computacionales para otros días del año, preferiblemente si son simulaciones computacionales dinámicas. Por el otro, los autores recomiendan llevar a cabo evaluaciones postocupacionales en las que se considere el papel y las preferencias de los usuarios.

Bibliografía

CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). *International Lighting Vocabulary*. CIE, 1987.

CIBSE (London). *Code for Interior Lighting*. London: Publications Secretary, 1994.

García, Ader. "Ajustes técnicos al diseño de las aulas de edificios educativos para la primera infancia, en el clima templado andino colombiano, a partir de la respuesta psicológica básica de los niños a los parámetros bioclimáticos de temperatura, iluminación natural y acústica de las aulas" [informe técnico]. Medellín, 2012.

Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). *Indicadores climatológicos*, s. f.

Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). *Clasificación climática Colombia*. <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lservicio=publicaciones<ipo=publicaciones&lfuncion=loadcontenidopublicacion&id=1772>. Acceso 14 de mayo de 2012.

IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) *The IESNA Lighting Handbook*. 9th ed. New York: IESNA, 2000.

ISO 15469:2004 (CIE S 011/E:2003). *Spatial distribution of daylight -- CIE standard general sky*. 2004.

Kowaltowski, Doris. *Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

Normas Técnicas Colombianas. *Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*. Bogotá: Icontec, 1999.