

Comodidad ambiental en las aulas escolares



UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA

UNIVERSIDAD DE
LA SALLE

facultad de
arquitectura
y urbanismo



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



El conocimiento
es de todos

Colciencias

**Incidencia en la salud docente
y en el rendimiento cognitivo de los
estudiantes en colegios públicos
de Bogotá, Medellín y Cali**

Colección Señales



Comodidad ambiental en las aulas escolares
*Incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo de los
estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali*

Comodidad ambiental en las aulas escolares

Incidencia en la salud docente
y en el rendimiento cognitivo de los
estudiantes en colegios públicos
de Bogotá, Medellín y Cali



UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA

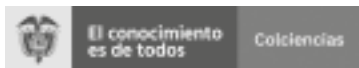
UNIVERSIDAD DE
LA SALLE

facultad de
arquitectura
y urbanismo



Autores

Carla María Zapata Rueda
Graciela Melisa Viegas
Gustavo Alberto San Juan
Helmuth Ramos Calonge
Jairo Alberto Coronado Ruiz
Jonathan Ochoa Villegas
Laura Rendón Gaviria
Laura Catalina Sarmiento Miranda
Lucas Arango Díaz
Luis Alberto Tafur Jiménez
Luz Magnolia Tilano Vega
Nataly Vanessa Echeverry Serna
Nelcy Echeverría Castro
Olga Lucía Montoya Flórez



El conocimiento
es de todos

Colciencias

2018

Universidad de San Buenaventura

Comodidad ambiental en las aulas escolares: incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo de los estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali / Carla María Zapata Rueda... [et al.]. --Medellín: Editorial Bonaventuriana; Cali: Editorial Bonaventuriana; Bogotá: Universidad de La Salle; Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata, 2018.
220 p. -- (Colección Señales)

Incluye referencias bibliográficas
ISBN: 978-958-8474-74-8

1. Aulas 2. Sistema educativo 3. Rendimiento académico 4. Construcciones escolares 5. Ambiente escolar 6. Comodidad

371.621 (CDD 23)
U588

Colección Señales

Comodidad ambiental en las aulas escolares: incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo de los estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali

Coeditores:

© Universidad de San Buenaventura, Medellín

© Universidad de San Buenaventura, Cali

© Universidad de La Salle, Bogotá, D. C.

© Universidad Nacional de La Plata, Argentina

© Autores: Carla María Zapata Rueda, Graciela Melisa Viegas, Gustavo Alberto San Juan, Helmuth Ramos Calonge, Jairo Alberto Coronado Ruiz, Jonathan Ochoa Villegas, Laura Rendón Gaviria, Laura Catalina Sarmiento Miranda, Lucas Arango Díaz, Luis Alberto Tafur Jiménez, Luz Magnolia Tilano Vega, Nataly Vanessa Echeverry Serna, Nelcy Echeverría Castro y Olga Lucía Montoya Flórez.

Grupos de investigación:

Universidad de San Buenaventura, Medellín, Salud Comportamental y Organizacional; Estudios Clínicos y Sociales en Psicología; Grupo de Investigación en Modelamiento y Simulación Computacional; Hombre, Proyecto y Ciudad
Universidad de San Buenaventura, Cali, Grupo de Arquitectura, Urbanismo y Estética
Universidad de La Salle, Bogotá, D. C., Habitec - Hábitat y Tecnología

© Editorial Bonaventuriana, 2018

Universidad de San Buenaventura, Medellín

Coordinación Editorial, Medellín

Carrera 56c #51-110 (Medellín)

Calle 45 #61-40 (Bello)

PBX: 57 (4) 5145600

editorial.bonaventuriana@usb.edu.co

www.usbmed.edu.co - www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co

Coordinador editorial: Fraidy Alonso Alzate Pamplona, Universidad de San Buenaventura, Medellín

Coeditores: Claudio Valencia Estrada, Universidad de San Buenaventura, Cali, y Alfredo Morales Roa,

Universidad de La Salle, Bogotá, D. C.

Corrección de estilo: Sabina Ojeda

Diseño y diagramación: Diego Alejandro Soto C.

Impresión: DGP EDITORES S.A.S

Libro de investigación basado en el proyecto: Identificación de factores de desempeño ambiental (acústico, térmico y visual) determinantes de la salud de docentes y estudiantes de escuelas públicas de Bogotá, Medellín y Cali: línea base para el análisis de impacto de la política pública según la norma NTC 4595.

Convocatoria 744: para proyectos de ciencia, tecnología e innovación en salud – 2016. Colciencias.

Los contenidos de esta publicación se encuentran protegidos por las normas de derechos de autor. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio sin permiso escrito de la Editorial Bonaventuriana.

ISBN impreso: 978-958-8474-74-8

ISBN digital: 978-958-8474-75-5

Tiraje: 600 ejemplares

Cumplido el depósito legal (Ley 44 de 1993, Decreto 460 de 1995 y Decreto 358 del 2000)

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

Diciembre del 2018

Contenido

Prólogo.....	11
Resumen	15
Introducción	17
Capítulo 1. El sistema educativo	23
El sistema educativo en Colombia	28
El sistema educativo en Bogotá	30
El sistema educativo en Medellín	32
El sistema educativo en Cali	34
Capítulo 2. Contexto histórico y normativo	39
Revisión histórica de los modelos de aulas públicas	41
El diseño de los colegios: Norma Técnica Colombiana 4595 (2000)	48
Normativa sobre la salud mental y la educación	54
Capítulo 3. Comodidad	59
Comodidad térmica.....	61
Modelos para determinar la comodidad térmica	
en los climas cálidos.....	62
Comodidad térmica en los colegios	64
Comodidad visual	66
Comodidad visual y nivel lumínico	68
Comodidad visual y deslumbramiento.....	70
Comodidad visual en las aulas y el rendimiento	
cognitivo de los estudiantes.....	71
Comodidad auditiva.....	73

Comodidad auditiva en los colegios	76
Capítulo 4. Aprendizaje y comodidad.....	79
El rendimiento cognitivo y los factores ambientales.....	85
Capítulo 5. Salud y comodidad.....	89
Afecciones mentales y físicas	92
Capítulo 6. Metodología operativa	97
Caracterización climática de las ciudades	100
Selección de los colegios por ciudad.....	103
Bogotá	104
Medellín.....	107
Cali.....	111
Definición de la muestra de estudiantes y docentes.....	114
Componentes del rendimiento cognitivo de los estudiantes	115
Indicadores de la salud mental de los docentes	116
Campañas para las mediciones ambientales en las aulas	117
Campañas de medición de los parámetros ambientales	119
Procedimiento estadístico del análisis de los resultados	122
Capítulo 7. Análisis comparado	125
Comodidad térmica.....	127
Condición climática a partir de las mediciones	127
Percepción de los niños sobre la sensación y la preferencia térmica	129
Análisis con el modelo adaptativo.....	133
Comodidad visual	135
Comodidad auditiva	138
Análisis comparado de los resultados 2017-2018.....	145
Rendimiento cognitivo estudiantil y comodidad	146
Salud docente y comodidad	154
Modelo 1: salud general.....	156
Modelo 2: estrés laboral.....	158
Modelo 3: agotamiento emocional	159
Capítulo 8. Discusión y recomendaciones a la norma.....	161
Factores de desempeño ambiental y rendimiento cognitivo de los estudiantes.....	163
Factores de desempeño ambiental y salud mental docente	165

Recomendaciones a la Norma Técnica Colombiana 4595.....	169
Capítulo 9. Conclusiones y consideraciones finales.....	175
Generales	177
Del diseño metodológico.....	178
De la Norma Técnica Colombiana 4595.....	180
Componente térmico.....	181
Componente visual.....	181
Componente auditivo.....	182
Referencias	185
Autores	211

Prólogo

El aula escolar debería ser un ejemplo arquitectónico de un alto nivel de comodidad, enfocado desde todas las variables objetivas y subjetivas que se puedan considerar. Se conoce que las buenas condiciones para estudiar tienen un impacto positivo en la autoestima de los alumnos y docentes; además, generan mayor interés en pasar más tiempo en la escuela.

En ese ámbito se produce —o se debería producir— el maravilloso proceso de crecimiento personal de los estudiantes y los docentes en los múltiples aspectos de la información, la formación y los valores. Como todo ambiente arquitectónico, debería brindar las mejores condiciones para que las tareas de aprender y enseñar sean exitosas y valorables.

El clima del aula tiene que facilitar el proceso educativo y contemplar la organización espacial y el equipamiento, el perfeccionamiento de las relaciones interpersonales, la programación de contenidos y el establecimiento de normas, entre otros aspectos. Todo esto con el objetivo de formar estudiantes analíticos, reflexivos, críticos y propositivos que construyan sus propios aprendizajes.

Si bien las premisas ambientales no son exclusivas ni excluyentes e involucran variables de disciplinas tales como la filosofía, la psicología, la sociología y la pedagogía, es la arquitectura con sus aspectos ambientales los que pueden condicionar —y, en algunos casos, determinar— que el proceso educativo sea significativo, sustancial y placentero.

En experiencias a los largo de muchos años sobre el ambiente en aulas de diversos usos y condiciones del entorno, comprobé que algunas sociedades no prestan demasiada atención a estos factores, ni exigen una valoración adecuada del diseño y el rendimiento en la utilización de las escuelas y sus aulas. Estas sociedades todavía no evalúan el costo social derivado del bajo rendimiento que produce trabajar o estudiar en condiciones inadecuadas.

Encontré muchos ejemplos en los que el espacio del aula se torna insoportable, debido a condiciones térmicas con excesivo calor o frío; un inadecuado intercambio sonoro, causado por interferencias externas e internas; una iluminación excesiva o insuficiente, lo cual complica leer o escribir; aire insalubre, debido a un marcado déficit en su intercambio, sobre todo en invierno; o insalubridad derivada del uso de materiales perjudiciales en el mobiliario, entre otras causas.

El presente libro contiene un pormenorizado análisis de situación de los factores que influyen en el ambiente del aula, con la finalidad de aportar líneas de acción para las políticas públicas de tres ciudades capitales colombianas: Bogotá (departamento de Cundinamarca), Medellín (departamento de Antioquia) y Cali (departamento del Valle del Cauca). Se trata de lograr un amplio beneficio en el bienestar —entendido también como comodidad— de las comunidades educativas de las escuelas de estas ciudades.

En un completo desarrollo conceptual, tecnológico y crítico —basado en datos tomados de una variedad importante de casos estudiados—, se relacionan los aspectos de la salubridad que derivan del comportamiento adecuado del ambiente, en cuanto a sus condiciones térmicas, lumínicas y acústicas, con el rendimiento cognitivo de los estudiantes, como un modo de evaluar significativamente dichas condiciones. Asimismo, se aborda la problemática de la salud de los docentes, vinculada con la calidad y comodidad en las aulas.

Al comparar normas y recomendaciones específicas, así como al analizar los datos empíricos y los resultados de las encuestas y los cuestionarios realizados, nacen interesantes conclusiones sobre la comodidad visual, térmica y acústica en estudiantes y docentes. Estas se complementan con especificaciones que se deben considerar en el planeamiento y diseño de las aulas escolares y las políticas públicas.

Se logra tener una visión integral del acondicionamiento ambiental que implica considerar aspectos funcionales y técnicos, los cuales se deben integrar de manera armoniosa con elementos culturales, psicológicos y significativos para que toda la obra vaya hacia un fin: lograr el confort integral del ser humano que habita los espacios exteriores e interiores.

Considero que este trabajo es un importante avance en el camino del mejoramiento del bienestar de las personas que participan en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Tiene un alcance general en algunos casos y uno particular para

las condiciones climáticas, ambientales, constructivas, normativas, entre otras, de las ciudades de Bogotá, D. C., Medellín y Cali.

Dr. Arq. Guillermo Enrique Gonzalo
Tucumán, septiembre del 2018

Resumen

Diversos factores ambientales y de confort en el aula, como las condiciones lumínicas, térmicas y acústicas, pueden influir en el rendimiento cognitivo de los estudiantes y en la salud mental de los docentes. Aunque estos factores alteran la atención y el desarrollo de las actividades de aprendizaje e incrementan la fatiga y el estrés de los profesores, es infrecuente encontrar estudios que integren diferentes disciplinas para abordar y comprender de modo integral las implicaciones del confort en las aulas de educación básica. En el país, la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595, sobre el planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares (Ministerio de Educación Nacional, 2006), establece las pautas para crear espacios educativos cómodos en los ámbitos visual, térmico y auditivo.

La investigación que soporta el presente libro se realizó con el apoyo del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). Para su desarrollo, se unieron varias áreas —como psicología, arquitectura e ingeniería de sonido— de las universidades de San Buenaventura (Medellín y Cali), La Salle (Bogotá, D. C.) y Nacional de La Plata (Argentina). El objetivo principal fue identificar los factores de desempeño ambiental (auditivos, térmicos y visuales) que determinan la salud mental de los docentes y estudiantes de escuelas de las tres capitales colombianas para analizar el impacto de la política pública, según la NTC 4595.

Se seleccionaron 58 aulas de catorce instituciones públicas distribuidas en las ciudades y se entrevistaron 1057 estudiantes y 298 docentes. El estudio fue de tipo descriptivo-correlacional, con herramientas y técnicas de observación en el terreno, y de registro de las mediciones con equipos especializados en diferentes momentos del año. Los análisis incluyeron métodos cualitativos y estadísticos de descripción, así como técnicas multivariadas paramétricas.

Con el estudio se observó que factores de confort visual y auditivo influyeron en el rendimiento cognitivo de los estudiantes, en especial en las pruebas de fluidez semántica y no semántica. También se evidenció que las condiciones térmicas tuvieron un efecto en el rendimiento cognitivo, en mayor medida en los hombres, de acuerdo con el clima de cada ciudad. Por otro lado, las pruebas de percepción en los docentes arrojaron factores de confort ambiental, en especial, auditivos, que son relevantes en su quehacer, sobre todo en los resultados de agotamiento emocional y en la labor.

A partir de los hallazgos, la norma requiere una revisión profunda de las recomendaciones de comodidad visual, térmica y auditiva, con base en las condiciones heterogéneas de las ciudades del país, las cuales son disímiles a las de otros contextos en situación estacional. Estas recomendaciones deben garantizar el confort de los estudiantes y los docentes, dado que ellos son los actores fundamentales del proceso de enseñanza-aprendizaje del ambiente escolar.

Introducción

El rendimiento cognitivo de los estudiantes y la salud mental de los docentes se pueden ver afectados por diversos factores ambientales y de confort en el aula. Condiciones incómodas expresadas con altas o bajas temperaturas, poca luminosidad, altos contrastes o sonidos que dificultan la inteligibilidad del discurso y la conversación en la clase están presentes en el día a día de la labor docente y académica, lo cual altera la atención y el desarrollo de las actividades de aprendizaje e incrementa la fatiga y el estrés de los profesores. No obstante, pocos estudios integran diferentes disciplinas para abordar y comprender de modo integral las implicaciones del confort en las aulas de educación básica.

En la literatura especializada en la comodidad, los desarrollos desde las áreas que la abordan —como la arquitectura, la ingeniería, la psicología y la salud— se presentan, en la mayoría de los casos, de manera fragmentada, lo cual produce soluciones parciales que no impactan con fuerza en el problema. En Colombia no se encuentran investigaciones que relacionen los componentes del confort ambiental o sus contrarios (incómodidad o *disconfort*¹) e involucren tanto a los estudiantes como a los docentes, ni mediciones subjetivas u objetivas como herramientas de acceso a la explicación y comprensión de la problemática en las aulas escolares.

La NTC 4595 (Ministerio de Educación Nacional, 2006) establece las condiciones de diseño para las aulas (tipo de ambiente A); sin embargo, la norma es poco exigente, dado que no tiene un carácter obligatorio. Además, esta tiene

1 En algunos apartados se usa el concepto *disconfort*, el cual se tomó del inglés *discomfort*, pero no está adaptado oficialmente al castellano. Se refiere a lo contrario del confort, en relación con los rangos nacionales e internacionales. Por otro lado, el concepto *incómodidad*, a pesar de su uso generalizado, puede indicar malestar, pero no enmarcado en los rangos de confort preestablecidos.

dos versiones: años 2000 y 2006 (primera y segunda edición) y año 2015, las cuales brindan diferentes recomendaciones arquitectónicas para la comodidad visual, térmica y auditiva. En este trabajo, el análisis se centra en la primera versión, porque es la que lleva más tiempo de implementación y la que rige a los colegios del estudio.

Este libro es el resultado del proyecto de investigación *Identificación de factores de desempeño ambiental (acústico, térmico y visual) determinantes de la salud de docentes y estudiantes de escuelas públicas de Bogotá, Medellín y Cali*: línea base para el análisis de impacto de la política pública según la norma NTC 4595, el cual se presentó en la convocatoria 744 para proyectos de ciencia, tecnología e innovación en salud - 2016 de Colciencias, bajo la línea temática de salud ambiental. Se desarrolló gracias a la alianza de varios grupos de investigación en las áreas de arquitectura, acústica y psicología de las universidades de San Buenaventura (Medellín y Cali), La Salle (Bogotá, D. C.) y Nacional de La Plata (Argentina).

El objetivo general fue identificar los factores auditivos, térmicos y visuales que impactan en la salud mental y el rendimiento en atención y función ejecutiva de los estudiantes de quinto y sexto grado de instituciones públicas de Bogotá, D. C., Medellín y Cali en aulas construidas con los parámetros establecidos en la NTC 4595, como un acercamiento al análisis de impacto o cumplimiento de esta política pública.

Para esto, se llevó a cabo un estudio transversal de alcance explicativo, con un enfoque predominantemente empírico analítico, mediante el uso de técnicas mixtas. Se utilizaron herramientas para la toma de datos única o secuencial en dos momentos del año con diferentes climas en cada una de las ciudades. En el libro se incluyen los resultados de los análisis, apoyados en el uso de la estadística inferencial, de modo que se explique el valor predictivo de las variables de confort ambiental en la salud docente y el rendimiento cognitivo de los estudiantes.

Se ejecutó un muestreo probabilístico aleatorio por conglomerados en fases. Se eligieron las ciudades de Bogotá, D. C., Medellín y Cali porque representan los tres tipos de climas cobijados por la NTC 4595: 1) moderado, frío y templado, 2) cálido seco y 3) cálido húmedo. Luego, desde el punto de vista de la infraestructura, se escogieron catorce colegios oficiales construidos después del 2000 o con bloques o reformas sustanciales posteriores a ese año. Así, se garantizó que siguieran los parámetros arquitectónicos y de uso de la norma. Las aulas seleccionadas atendían a estudiantes cuyo momento de desarrollo estaba al final

de la segunda infancia o comienzos de la adolescencia, lo cual ayudó a disminuir los efectos de la edad en las funciones cognitivas; además, se excluyeron los niños con diferencias individuales que representaban una posibilidad de sesgo en el análisis de los resultados.

En total se evaluaron 1057 estudiantes con instrumentos de valoración psicológica y neuropsicológica validados en Colombia, los cuales tienen una adecuada consistencia que se evidencia en investigaciones. Profesionales idóneos aplicaron estas herramientas en un protocolo estructurado que siguieron los investigadores y auxiliares en las tres ciudades en diferentes momentos. Tras la depuración de los datos, se incluyeron 865 estudiantes en el análisis, con el fin de garantizar una mayor validez de los resultados. Además, se evaluó la mayor cantidad de docentes posible, sin aplicar criterios de exclusión, para tener una muestra representativa. En total, 298 profesores aceptaron participar. Los análisis incluyeron métodos cualitativos y estadísticos de descripción, así como técnicas multivariadas paramétricas con el sistema estadístico SPSS, versión veinticinco.

La investigación que soporta este libro se rigió por lineamientos éticos aprobados por el Comité de Bioética de la Universidad de San Buenaventura de Medellín. Se conservan las condiciones de confidencialidad de las personas evaluadas y de las instituciones educativas participantes. Además, se hacen públicos los créditos a Colciencias y a las universidades de San Buenaventura (Medellín y Cali), La Salle (Bogotá, D. C.) y Nacional de La Plata (Argentina), como financiadoras del estudio.

Los resultados de este abordaje dan un diagnóstico de la calidad auditiva y bioclimática de las aulas seleccionadas, del rendimiento en atención y función ejecutiva —en específico, la fluidez gráfica— de los estudiantes y de las dificultades de salud de los docentes relacionados con la calidad físico-espacial y ambiental de la infraestructura educativa. Se espera que a mediano y largo plazo los resultados aporten evidencias básicas para la implementación de la política pública y orienten el diseño de edificios escolares acordes con las condiciones de dichas ciudades y con las necesidades de la comunidad educativa, que sería la población directamente beneficiada.

Del primer al quinto capítulo se explica la parte teórica del estudio. En los dos primeros se presentan el sistema y las cifras del sector educativo. Además, a manera de contexto, en el segundo se despliegan las principales tipologías de la arquitectura escolar en Colombia a lo largo de la historia y se describen las normas que rigen el diseño de los colegios. En el tercer capítulo se exponen el

confort térmico, el visual y el auditivo, sus antecedentes teóricos y, en específico, sus desarrollos en las aulas.

En el cuarto y el quinto se hace referencia a la salud docente y al rendimiento cognitivo de los estudiantes en relación con el confort. Asimismo, se indican las condiciones ambientales vinculadas con el rendimiento de los estudiantes en cuanto al aprendizaje en general y a las implicaciones directas sobre los procesos de atención, memoria o resolución de problemas. También se expresa cómo la salud, el agotamiento emocional y el estrés laboral se pueden ver afectados por la percepción del impacto de las condiciones ambientales de los docentes.

La parte operativa de análisis y contrastación se plantea del sexto al noveno capítulo. En el sexto se presenta el diseño metodológico de la investigación por componentes: rendimiento cognitivo de los estudiantes, salud mental de los docentes y confort ambiental. Para cada uno se desarrollan variables, indicadores, modelos y campañas; también se explican los criterios para definir las muestras de estudiantes, docentes y colegios que constituyen los casos del estudio y la caracterización climática de las tres ciudades.

El análisis se expone en el séptimo capítulo desde los aspectos del confort en relación con las recomendaciones de la NTC 4595 y con los componentes del rendimiento de los estudiantes y la salud docente, los cuales evidencian las implicaciones que tienen las condiciones lumínicas y térmicas en los niños y adultos.

A partir de la NTC 4595, en el octavo se dan a conocer las conclusiones sobre la comodidad visual, térmica y auditiva, asociadas con los estudiantes y los docentes. También se desarrollan desde el planeamiento y diseño de las infraestructuras escolares y las políticas públicas.

Finalmente, en el noveno capítulo, se exponen las conclusiones y recomendaciones generales que cierran el estudio y ofrecen futuras líneas de continuidad y profundización.

En las ciudades de Bogotá, D. C., Medellín y Cali el proyecto fue posible gracias a la colaboración de la Secretaría de Educación del Distrito, la Secretaría de Educación de Medellín y la Secretaría Municipal de Cali, respectivamente. También fue importante el apoyo de las direcciones de construcción y conservación de los establecimientos educativos, y las áreas de planeación y diseño. Por otra parte, este proyecto no se hubiera podido desarrollar sin la colaboración

especial de los rectores, coordinadores, profesores, padres de familia y alumnos de las instituciones educativas abordadas.

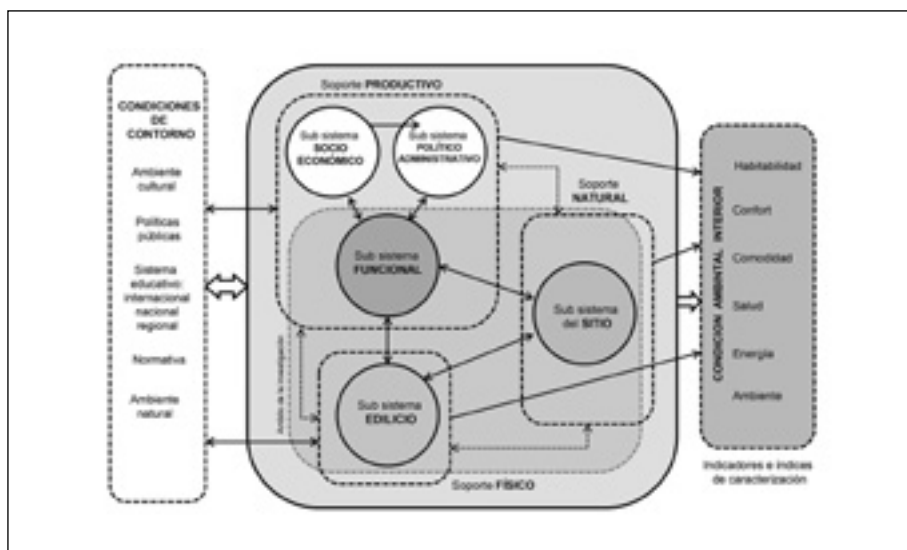
De igual manera, fue indispensable el apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Transferencia (VRIT) de la Universidad de La Salle, de las direcciones de investigación de la Universidad de San Buenaventura en Medellín y Cali, y de las directivas de las facultades de Arquitectura, Psicología e Ingeniería de las universidades. Por último, se resalta el trabajo de los estudiantes de los pregrados vinculados al estudio como monitores y practicantes, y de los maestrandos con sus proyectos de investigación entre los años 2017 y 2018.

Capítulo 1

El sistema educativo

En este capítulo se analiza la dinámica del sistema educativo a partir de la comprensión de sus elementos constitutivos (subsistemas) y de sus relaciones (R), entendidas como flujos de entrada y de salida, con respecto a las condiciones de contorno (CC) (figura 1.1).

Figura 1.1.
El sistema educativo y su dinámica



Fuente: San Juan (2008).

El sistema educativo está conformado por tres sistemas de soporte:

1. Productivo (SP): se refiere a la educación como producto. Involucra los servicios educativos, la tecnología disponible —tanto en equipamiento como en métodos, técnicas y herramientas pedagógicas—, los recursos necesarios para su funcionamiento, los costos operativos —edilicios y los relativos al equipamiento, recursos humanos e insumos requeridos—, los servicios complementarios dentro o fuera del horario escolar —como bibliotecas o comedores— y la comunidad educativa, conformada por estudiantes,

docentes, no docentes y egresados, en cuanto a su función educativa. Este soporte tiene tres subsistemas: socioeconómico (SE), político-administrativo (PA) y funcional (F).

2. Físico (SF): determina el subsistema edilicio (E). Su importancia radica en que, por lo general, los edificios escolares se basan en organizaciones tipológicas, las cuales se reconocen según sus niveles educativos, el periodo histórico en que fueron concebidos y el periodo de gestión en el que se proyectaron y realizaron. El comportamiento ambiental (incluido el confort) y las necesidades energéticas varían en función de la tipología arquitectónica, su disposición en el terreno y la tecnología constructiva empleada. Además, se distinguen diferentes sectores funcionales: aulas, circulaciones, espacios de usos múltiples, áreas especiales, áreas administrativas, etc., que se reconocen como módulos edilicios energo-productivos (MEEP) con distintas necesidades ambientales y energéticas.
3. Natural (SN): involucra el subsistema del sitio (S). Implica considerar la localización en relación con factores externos como la climatología del sitio o su situación microclimática. En el análisis de las variables climáticas sobresalen la humedad relativa (%), la temperatura (t°), la velocidad del viento (km/h), la radiación solar (MJ/m^2) y los grados día de calefacción y enfriamiento (GD), que determinan las condiciones ambientales naturales, las relaciones recíprocas entre los medios biótico y abiótico, el contexto de implantación (urbano o rural), el suelo (color, textura, morfología, vegetación), entre otros.

Junto con el subsistema edilicio, el del sitio representa las variables independientes, asociadas al confort, las cuales definen las características dimensionales de los módulos edilicios involucrados, entendidos estos como diferenciales de una unidad mayor (por ejemplo: aula/sector de aulas); su organización, la cual conforma el todo como unidad autónoma y repetible; la tecnología de las partes constitutivas; el equipamiento de acondicionamiento involucrado; y su localización, sobre todo en la orientación y su emplazamiento.

El sistema educativo y, por consiguiente, su infraestructura se encuentran influenciados por ciertas condiciones de contorno (CC) o condicionantes externos que tienen que ver, por un lado, con las políticas desarrolladas en el sector por los gobiernos en sus diferentes niveles, los cuales condicionan la perspectiva tanto cualitativa como cuantitativa, y, por otro, con las políticas externas producto de

decisiones nacionales, regionales o internacionales derivadas de planteamientos a escala continental o global; por ejemplo, la internalización de la economía, la consolidación de los patrones de desarrollo y estilos de consumo, los modelos educativos y su injerencia dentro de las fronteras, los desarrollos tecnológicos y las implicancias culturales, sociales y económicas. También es un ejemplo el contexto internacional, que influye en las economías regionales, en el desarrollo de conglomerados urbanos y en las diversas redes edilicias, los servicios de infraestructura, los servicios básicos y los sectores productivos que conforman la ciudad. Además, tienen relevancia el paradigma tecnoeconómico vigente y el ambiente natural y cultural del ecosistema.

Las relaciones del sistema con las CC representan las salidas y entradas a este. Por ejemplo, las salidas son la mejora de la calidad de vida, la formación y la educación pública; las entradas son los recursos económicos: presupuestos, subsidios, créditos y políticas públicas propias del sector y de otros sectores. Además, hay flujos bidireccionales como el conocimiento, la capacitación, la oferta y demanda de tecnología, los recursos humanos y los insumos.

Como en todo sistema, su dinámica está definida por las relaciones (R) entre los subsistemas. En esta investigación se profundiza en las de los subsistemas del sitio, edilicio y funcional, que pueden ser unidireccionales o bidireccionales. La relación entre el edilicio y el del sitio (E-S) establece la dialéctica entre la conformación de un “lugar” por parte del elemento físico. Instituye un espacio de actividades que se vincula con su medio, contexto mediato e inmediato a través de visuales, energía, población escolar, radiación solar, insumos, viento, recursos, entre otros. El sitio ofrece y condiciona estas necesidades. El equilibrio entre el medio biótico y el abiótico tenderá a calificar el emprendimiento como cercano a criterios bioclimáticos o sostenibles, o no.

La relación entre el funcional y el edilicio (F-E) tiende a ser dinámica en el sentido de que las variables intervinientes influyen en la respuesta tecnológica a los condicionantes requeridos por la enseñanza. Por otro lado, el funcional y el del sitio (F-S) ofrecen una relación indirecta, caracterizada por la apropiación del sitio y la degradación producida sobre este. Esta compleja situación se refiere a una condición de contorno asociada con los ambientes natural y cultural, y las decisiones que en estos se producen vinculadas con estrategias de modificación de la forma y las tecnológicas adoptadas, con el objeto de optimizar las condiciones de habitabilidad (confort- bienestar) interior y exterior, mediante la adecuación de la respuesta tecnológica a las características del emplazamiento

(local o regional), y de realizar una estimación de las necesidades de energía para la climatización con un estándar de confort.

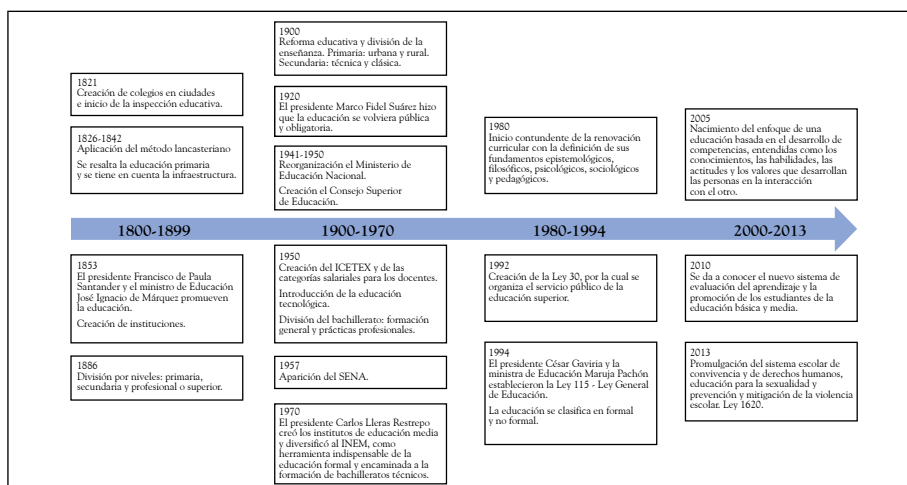
Desde este punto de vista, se encuentra una entrada de conocimiento tecnológico y de mejora de las condiciones técnicas, constructivas y de habitabilidad de los establecimientos escolares. Se incorpora un paquete edilicio-tecnológico acorde con las repuestas regionales y culturales, y con las políticas públicas centradas en el uso eficiente de los recursos (UEE). Como resultado de las decisiones proyectuales, en el marco del paradigma sistémico-ambiental se tendrá una respuesta que caracterizará la producción proyectual de los espacios habitables del edificio escolar (habitabilidad, confort, salud, energía, calidad ambiental, calidad de vida), lo cual condicionará las salidas o el impacto del modelo (información, materia y energía), que causan contaminación ambiental externa e interna, deterioro del medio natural y disminución del uso de energías convencionales. Por ende, si el edificio se transforma en un factor educativo, como un “libro abierto” en cuanto al ambiente, transmitirá conocimiento de forma directa a la comunidad educativa.

El sistema educativo en Colombia

La educación en Colombia es un derecho ciudadano y una prioridad del Estado, de acuerdo con la Constitución Política de 1991 (Ministerio de Educación Nacional, 2016) y la Ley General de Educación o Ley 115 (Congreso de la República de Colombia, 1994). En el artículo 67 de la Constitución se especifica que es un servicio público de función social, gratuito en las instalaciones del Estado. Además, se señala que el Gobierno debe regularla y supervisarla para asegurar su buena calidad y el cumplimiento de las normas.

En el año 1853 se comenzó a promover la educación con la creación de instituciones formativas. En 1886 se hizo la división por niveles: primaria, secundaria y superior. En el siguiente siglo, en 1920, la educación se convirtió en pública y obligatoria. Además, en 1950 nació el Instituto Colombiano de Crédito Educativo y Estudios Técnicos en el Exterior (ICETEX), destinado a impulsar la educación superior. El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), institución pública de orden nacional con autonomía administrativa, adscrita al Ministerio del Trabajo, apareció en 1957. Luego, en 1994 se creó la Ley General de Educación (figura 1.2).

Figura 1.2.
Contexto histórico de la educación en Colombia



Fuente: elaborado con base en Echeverría, Guerrero, López y Sánchez (2017) y Línea de tiempo historia de la educación en Colombia (2015).

El servicio educativo tiene una estructura que envuelve un conjunto de organizaciones y niveles: educación formal, para el trabajo y el desarrollo humano e informal. La formal, en la cual se inscribe el presente estudio, tiene cuatro niveles básicos:

1. *Preescolar*: está destinado a los niños menores de seis años. El sistema público solo cobija a los niños entre los tres y cinco años.
2. *Básica*: va de los seis a los diez años. La secundaria va de los once a los catorce años.
3. *Media*: es el último nivel obligatorio y va de los quince a los dieciséis años. Consta de dos cursos y el estudiante puede elegir entre distintos itinerarios (ciencias, arte y tecnología). Culmina con el título de bachiller.
4. *Superior*: enfocada a los estudiantes mayores de dieciséis años.

Esta toma de escala del sistema educativo nacional, asociada con las dimensiones social, económica y política, compone una compleja red de relaciones en una situación dinámica difícil de definir, la cual se proyecta con variaciones en las regiones y los distritos educativos, inmersos en una trama de interacción en el medio urbano y el rural.

El sistema educativo en Bogotá

En el 2013, 2448 colegios estaban registrados en Bogotá, D. C.: 359 eran oficiales, veinticinco estaban en concesión —educación gratuita en las localidades donde se ubican—, 179 eran contratados y 1885 eran privados, de acuerdo con la Secretaría de Educación del Distrito (2015) (tabla 1.1). La distribución de los colegios se ha realizado por el proceso de crecimiento y demanda de la educación en la ciudad (figuras 1.3 y 1.4).

Tabla 1.1.
Establecimientos educativos en total

Establecimientos educativos	Total
Oficiales	359
En concesión	25
Contratados	179
Privados	1885
Total	2448

Fuente: elaborado con base en Secretaría de Educación del Distrito (2015).

Figura 1.3.
Colegios oficiales



Fuente: Secretaría de Educación del Distrito (2015).

Figura 1.4.
Colegios en concesión



Fuente: Secretaría de Educación del Distrito (2015).

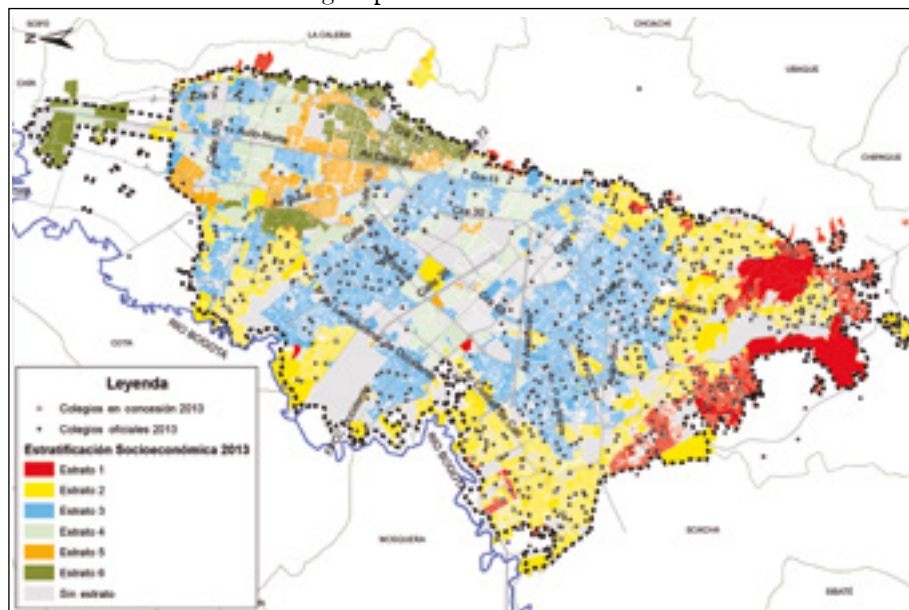
La ciudad pasó de tener un déficit de cupos en las instalaciones educativas de 18.867 en el año 2012 a poseer un superávit de 55.799 en el 2014 en ciertas localidades. En junio del 2015, las instituciones de jornada completa tenían 79.755 cupos disponibles, de los cuales 63.035 eran del primer al undécimo grado y 6375 de prejardín, jardín y transición.

En marzo del 2015, 86.713 niños de tres a cinco años estaban vinculados al sistema oficial, lo cual representó un crecimiento aproximado del 42,1 % en la matrícula respecto a lo registrado en el 2012. En el nivel de preescolar había un total de 308 colegios oficiales que prestaban el servicio. En total, 8348 cupos estaban disponibles, con un promedio de veintisiete cupos de sobreoferta por colegio.

La distribución espacial de los colegios públicos sobre el plano de estratificación socioeconómica de la ciudad es una variable importante por determinar. En los sectores de los estratos 4, 5 y 6 no hay colegios oficiales ni en concesión, excepto algunos casos puntuales (figura 1.5). Por otra parte, en el estrato 3, localizado principalmente en casi todo el anillo central de la ciudad, se encuentra el mayor número de colegios oficiales. En el estrato 2, ubicado en el anillo perimetral

occidental y sur, también hay una cantidad considerable de colegios. En el estrato 1, localizado principalmente en las localidades de Usme y Ciudad Bolívar, se encuentra el menor número de colegios públicos.

Figura 1.5.
Estratificación socioeconómica y localización de los
colegios públicos en el año 2013



Fuente: Secretaría de Educación del Distrito (2015).

La localización de los colegios privados en Bogotá corresponde a una distribución equilibrada en el territorio. Solo se observa una menor incidencia en la zona industrial de la ciudad. Con respecto a los oficiales, la ubicación predominante está en el costado sur. Las instituciones contratadas están mayoritariamente en el borde suroccidental y las que tienen una concesión se encuentran en dos localidades de ese mismo borde. El tiempo de uso de los colegios distritales está soportado en la modalidad de dos jornadas académicas durante el día, desde las 6:00 a. m. hasta las 6:00 p. m.

El sistema educativo en Medellín

En la ciudad de Medellín existen 631 establecimientos educativos, de los cuales 220 están en las comunas 7 (Robledo), 10 (La Candelaria), 12 (La América)

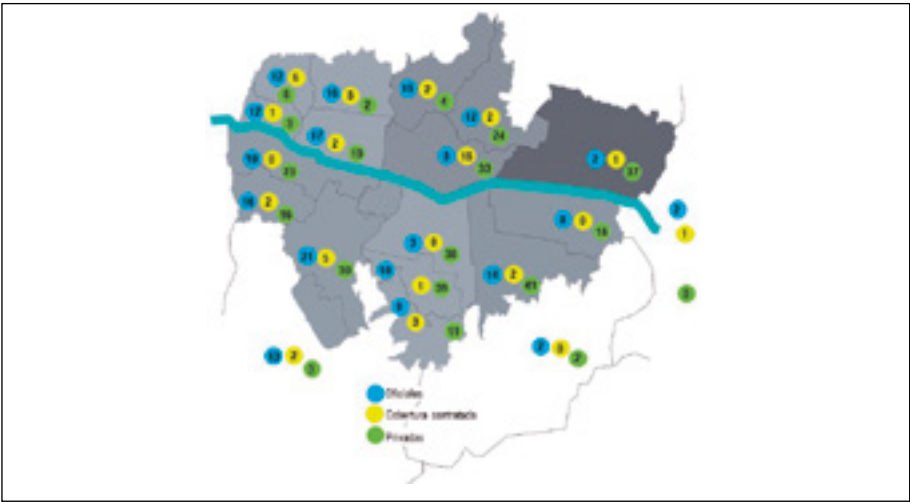
y 16 (Belén), principalmente en la ladera occidental de la ciudad. Del total de instituciones, el 36 % son oficiales y se ubican en su mayoría en las comunas 3 (Manrique), 4 (Aranjuez), 5 (Castilla), 6 (12 de octubre) y 7 (Robledo) en la zona norte (tabla 1.2 y figura 1.6).

Tabla 1.2.
Establecimientos educativos por sectores en Medellín

Establecimientos educativos	Total
Oficiales	229
Cobertura contratada	51
Privados	346
Total	626

Fuente: elaborado con base en Secretaría de Educación de Medellín (2016b).

Figura 1.6.
Mapa con las instituciones por comunas y corregimientos en Medellín



Fuente: Secretaría de Educación de Medellín (2016b).

Según datos de la Secretaría de Educación de Medellín (2016a), la mayor cantidad de estudiantes activos en edad escolar se encuentra en básica primaria y secundaria: 45 % y 35 %, respectivamente. Los niveles con menor representatividad son prejardín y jardín, los cuales aportan el 2 % de los estudiantes. Cuando se analiza el sector oficial, la mayoría de los estudiantes se concentran en los niveles de básica primaria y secundaria (tabla 1.3).

Tabla 1.3.

Estudiantes de prejardín y básica activos en edad escolar en Medellín en el año 2016

	Prejardín y jardín	Transición	Básica primaria	Básica secundaria	Media	Total
Oficial	22	18.375	133.444	105.991	37.163	294.969
Contratada	–	2352	14.448	10.299	3354	30.453
Privada	9794	5646	26.672	20.879	9567	62.764
Total	9816	26.373	174.564	137.169	50.084	388.186

Fuente: Secretaría de Educación de Medellín (2016a).

Con respecto al nivel de cobertura por sector desde el año 2011, el mayor número de matrículas se concentra en las instituciones oficiales en todos los periodos. Aunque la cantidad de matrículas del sector oficial para la educación regular representa en todos los casos un 75 % del total de matriculados, los estudiantes han disminuido año tras año (tabla 1.4).

Tabla 1.4.

Matrícula de la educación regular por sector 2011-2016

Año	Oficial	Cobertura controlada	Privado	Total
2011	322.269	83.298	73.125	478.692
2012	319.157	76.739	86.611	482.507
2013	315.684	75.289	83.544	474.517
2014	313.499	78.759	77.273	469.531
2015	305.792	68.520	83.602	457.914
2016	305280	65955	79021	450.256
Total	1.881.681	448.560	483.176	2.813.417

Fuente: Secretaría de Educación de Medellín (2016a).

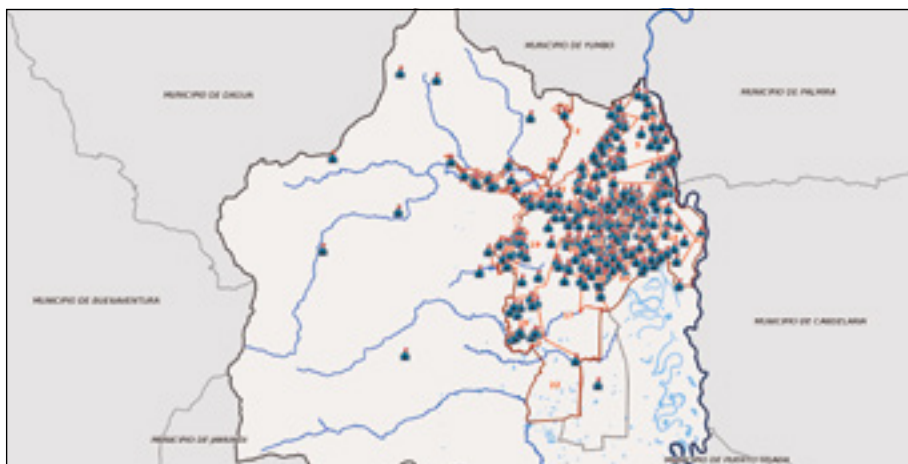
El sistema educativo en Cali

En Santiago de Cali existen 92 instituciones educativas oficiales (IEO) y una en concesión: el colegio Nelson Garcés Vernaza de la comuna 21. De estas, 78 se ubican en la zona urbana y catorce en la rural. La mayor cantidad de instituciones oficiales y privadas por comunas se concentra en las 13, 14, 19 y 21, tres de estas están en el oriente de la ciudad. Las comunas 1, 3, 9, 19 y 21 son las que tienen menos sedes. La mayor cantidad de sedes oficiales y privadas se encuentra en la zona plana y la menor proporción de oficiales en el piedemonte. El área

de ladera cuenta con la menor proporción de privadas. La zona de piedemonte presenta un equilibrio entre el número de sedes oficiales y privadas (figura 1.7).

Figura 1.7.

Instituciones educativas oficiales en el departamento del Valle del Cauca



Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali (s. f.).

El comportamiento de la matrícula por niveles educativos, número de alumnos y tipo de institución presenta una mayor cobertura desde las instituciones oficiales con 164.900 matriculados. En cuanto a los tipos de institución hay una categoría “contratada”, que se refiere a las instituciones de naturaleza pública que están administradas por una entidad o persona privada. Si se consideran estos dos grupos como instituciones públicas, el número total de beneficiados es de 235.269, que corresponde al 65 %. Las matrículas en el sector privado alcanzan el 35 % (tabla 1.5).

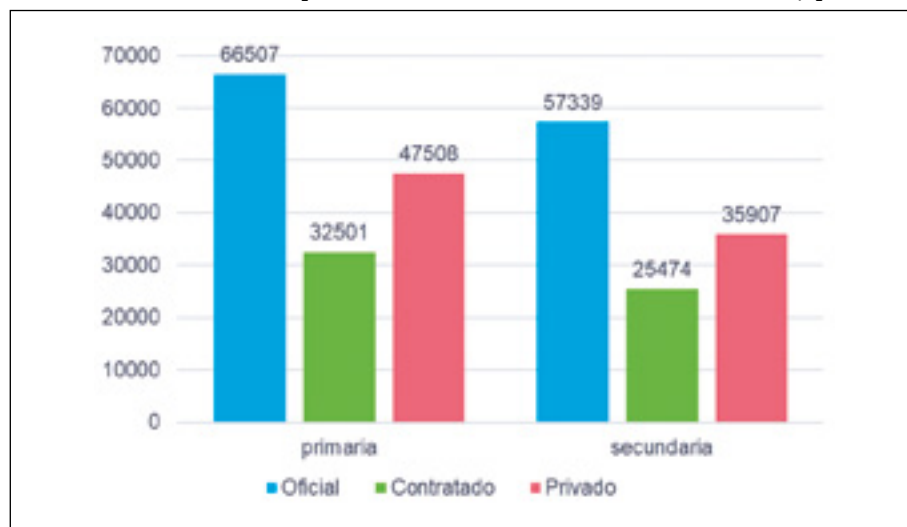
El comportamiento general de la matrícula en los establecimientos oficiales tiene un mayor número de estudiantes en la educación primaria y en la secundaria: 145.516 y 118.720, respectivamente, cantidades que alcanzan el 73 % del total de matriculados. El resto de los niveles (prejardín, jardín, transición, media, normal superior y por ciclos) suman 97.203 matriculados (27%). Los niveles educativos de los sectores oficial, contratado y privado muestran que la cantidad de matriculados en primaria y secundaria es mucho mayor en las instituciones oficiales que en las privadas (figura 1.8).

Tabla 1.5.
Coberturas en instituciones públicas, contratadas y privadas

Niveles	Oficial	Contratada	Privada	Total
Inicial	-	10	9225	9235
Transición	9843	3607	9513	22.963
Primaria	65.507	32.501	47.508	145.516
Secundaria	57.339	25.474	35.907	118.720
Media	20.356	8740	14.870	43.966
Normal superior	580	-	-	580
Ciclos	11.256	-	9203	20.459
No dato	19	37	9	65
Total	164.900	70.369	126.235	361.504

Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali (2017).

Figura 1.8.
Niveles educativos comparados en los sectores oficial, contratado y privado



Fuente: elaborado con base en Alcaldía de Santiago de Cali (2017).

La mirada desde la matrícula hacia el ámbito socioeconómico¹ arroja que los estratos 1, 2 y 3 son los mayores beneficiarios del sistema. En el año 2017, estos representaron el 89,1 % de la matrícula; los estratos 4, 5 y 6 representaron el 10,9 %.

-
1. De acuerdo con la Alcaldía de Santiago de Cali (s. f.):
la estratificación socioeconómica es el mecanismo que permite clasificar la población en distintos estratos o grupos de personas que tienen características sociales y económicas similares, a través del examen de las características físicas de sus viviendas, el entorno inmediato y el contexto urbano o rural de las mismas.
- Esta se basa en la calidad de las viviendas más no de los ingresos. Los estratos son 1: bajo-bajo, 2: bajo, 3: medio-bajo, 4: medio, 5: medio-alto y 6: alto.

Capítulo 2

Contexto histórico y normativo

Revisión histórica de los modelos de aulas públicas

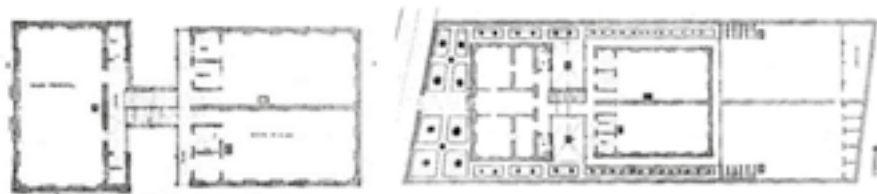
En el contexto histórico colombiano del desarrollo del edificio escolar las ciudades de Bogotá, D. C., Cali y Medellín han sido representativas en la construcción y el diseño de los espacios. Los edificios construidos y adecuados desde finales del siglo XIX y principios del XX —como desarrollos importantes desde lo republicano hasta la modernidad—, originados por comunidades religiosas e iniciativas privadas, generaron un primer sello en el concepto del claustro y del campus (control y apertura). Las edificaciones institucionales en las tres ciudades evolucionaron según las propuestas de arquitectos extranjeros y de las oficinas colombianas de arquitectura con tendencias dirigidas a las políticas educativas del país.

El centralismo gubernamental y el modelo pedagógico institucional —nacido de las tendencias pedagógicas—, así como la mezcla entre la arquitectura y la educación como tema preponderante, fueron los estilos del diseño escolar durante el siglo XX en las tres ciudades. Históricamente, la hegemonía conservadora (hasta los años treinta), la escuela nueva, las misiones alemanas, la escuela normal como política educativa, las instituciones ejecutoras como el Instituto Colombiano de Construcciones Escolares (ICCE), la escuela experimental, los fondos educativos regionales, el Ministerio de Educación Nacional, las gobernaciones —a través de sus secretarías de Educación— y las entidades administrativas municipales y distritales han sido responsables de las tendencias básicas del diseño del edificio escolar, con base en las leyes nacionales y normas técnicas. La mirada hacia los referentes internacionales también ha constituido un aspecto importante dentro de los parámetros del diseño.

Las políticas educativas y las tendencias pedagógicas, dirigidas por los modelos y proyectos educativos institucionales, enmarcan el carácter del diseño arquitectónico escolar y sus instalaciones básicas. La historia del edificio escolar público en el país ha sido un proceso discontinuo con algunos aciertos, pero también con equivocaciones. El análisis profundo de las normas y técnicas, así como su apropiación, constituyen formas de atender de manera más responsable el diseño escolar en Colombia.

A principios del siglo XX se planteó la necesidad de agrupar y tipificar, según las políticas educativas, tanto los modelos y niveles pedagógicos requeridos como los modelos de las edificaciones escolares repetibles, con el fin de agilizar y racionalizar su construcción. Esto se conoce como el modelo republicano (figura 2.1).

Figura 2.1.



Fuente: Benavides (2007).

En los años treinta y cuarenta, la Dirección de Edificios Municipales de Bogotá, en cabeza del arquitecto Carlos Martínez, diseñó y construyó varias tipologías de escuela y modelos que tenían similitudes (figura 2.2). Hoy, estos todavía se encuentran en funcionamiento, pero han sido modificados, reforzados por su vulnerabilidad sísmica y mejorados de modo integral, con el objetivo de alcanzar los estándares actuales.

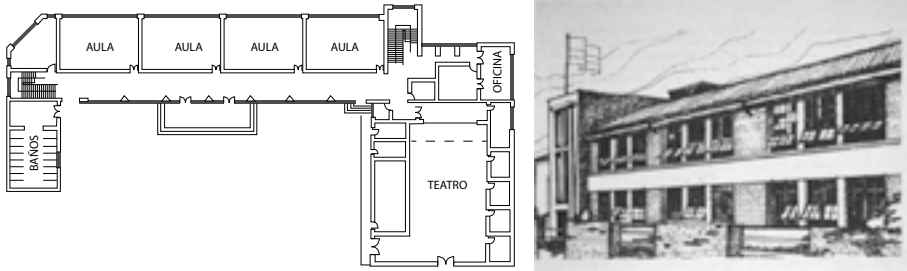
Figura 2.2.



Fuente: Benavides (2007).

En 1938, se incorporó al modelo moderno el ladrillo a la vista en las fachadas, combinándolo con áreas en pañete y color. Se resaltó en la fachada de acceso principal un volumen alto con énfasis en la imagen de la educación escolar pública (figura 2.3). También se propuso un diseño de ventanas (de inspiración francesa) con pequeños módulos cuadrados para reducir los costos en el mantenimiento por el cambio de vidrios.

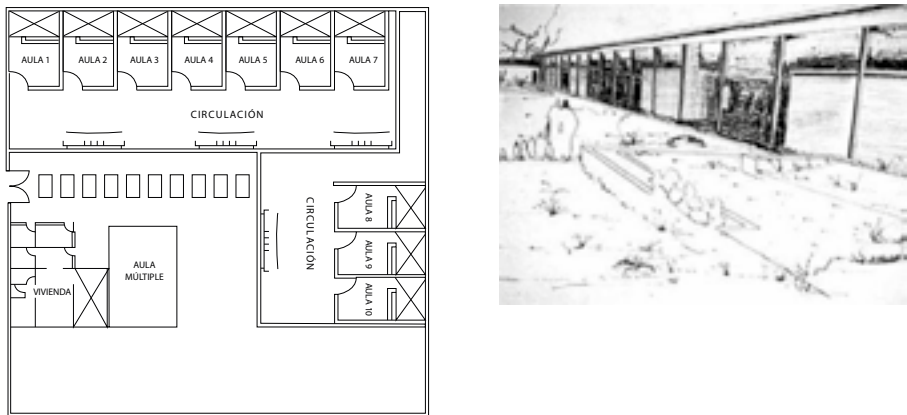
Figura 2.3.
Planta general y tipologías del modelo moderno en 1938



Fuente: Benavides (2007).

En 1954, durante el gobierno de Gustavo Rojas Pinilla, se le encargó un modelo al arquitecto Eduardo Angulo. Propuso una tipología de escuela en la que las aulas se agrupan linealmente o en “L” y cuentan con un área de extensión para actividades al aire libre y con amplios corredores de circulación, que sirven como recreos cubiertos y contienen los núcleos de servicios y sanitarios. El conjunto también ofrece un área de aula múltiple abierta para desarrollar diversas actividades (figura 2.4).

Figura 2.4.
Planta general y tipologías del modelo de Eduardo Angulo



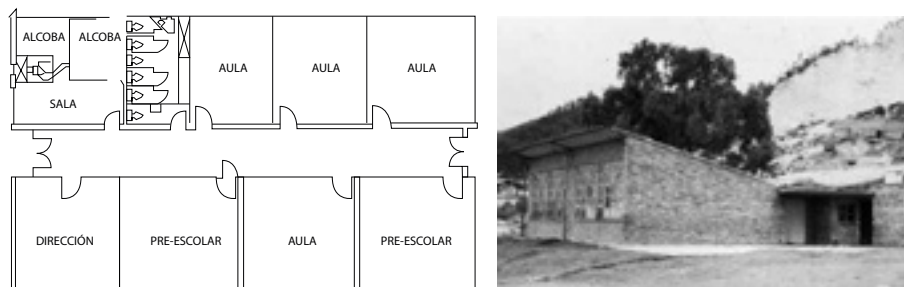
Fuente: Benavides (2007).

El sistema en un piso, conocido como el modelo de alianza —propuesto en 1966—, tiene un esquema “tipo mariposa” que busca ampliar la altura de las aulas hacia los grandes ventanales para aprovechar al máximo la luz natural (figura 2.5). Se agrupan las aulas en doble crujía (en ambos costados con el corredor

central) con un sistema modular de columnas metálicas que da flexibilidad al tamaño de las aulas y contiene los núcleos de los baños y la vivienda en uno de los extremos del bloque.

Figura 2.5.

Planta general del modelo de alianza en Bogotá

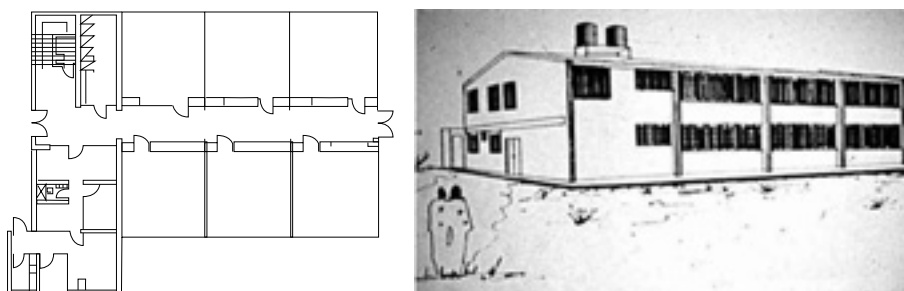


Fuente: Maldonado (1999).

En 1968 se planteó una variación del modelo de alianza, desarrollada por la Caja de Vivienda Popular. Se mantenía la organización de doble crujía, pero en dos y hasta tres pisos (figura 2.6). El diseño modificó la cubierta y la puso a dos aguas con la pendiente hacia el exterior. La estructura metálica y la flexibilidad desaparecieron. Por lo general, el corredor del piso inferior presentaba una entrada de luz natural insuficiente, lo que se acentuó al no tener ventanas bajas sobre las circulaciones para evitar la “distracción de los niños”. Esta variación es bastante limitada desde el punto de vista arquitectónico.

Figura 2.6.

Planta general del modelo de la Caja de Vivienda Popular



Fuente: Maldonado (1999).

Un año más tarde, el modelo experimental propuso la concentración o “desaparición” de los corredores o circulaciones, que eran espacios de relación, no

de uso. El modelo rompió con las propuestas ortogonales y planteó formas trapezoidales o triangulares que motivaran la movilidad e interactividad. Se presentaron paneles corredizos para manejar distintos tamaños de grupos e impulsar la integración de estos. Los baños estaban localizados en un bloque central, enlazado con los dos costados de las aulas, que se agrupaban en tres niveles (figura 2.7).

Figura 2.7.

Planta tipo del modelo experimental (1969)

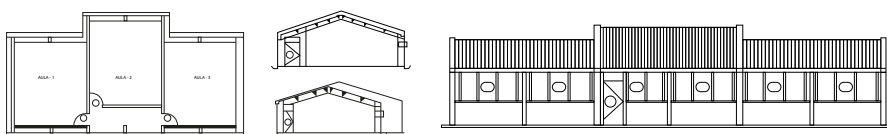


Fuente: Maldonado (1999).

También en 1969, con el modelo ICCE se efectuaron variaciones en la volumetría de la cubierta: se pasó de dos aguas a una sola pendiente con el uso, en muchos casos, de la canaleta 43 o noventa de asbesto-cemento (figura 2.8).

Figura 2.8.

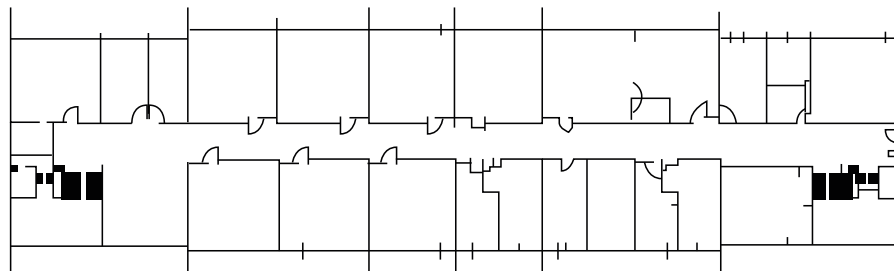
Planimetría del modelo ICCE en el periodo 1968-1980



Fuente: Maldonado (1999).

En 1970, el llamado modelo Barco —desarrollado durante el periodo como alcalde de Bogotá del ingeniero Virgilio Barco, de quien toma su nombre— pretendía contener en un edificio la mayor cantidad de aulas posible. Concentraba el área de construcción en bloques de tres y cuatro pisos para utilizar al máximo las áreas libres, recreativas y deportivas. El bloque lineal organizaba las aulas en doble crujía —lo cual generaba corredores oscuros en los pisos inferiores— en tres pisos con puntos fijos de amplias escaleras y baterías sanitarias. En el cuarto nivel se localizaba la vivienda, que tiene un uso diferente en la actualidad (figura 2.9).

Figura 2.9.
Planimetría del modelo Barco en el periodo 1968-1970



Fuente: Maldonado (1999).

En las décadas de 1980 y 1990, las propuestas del arquitecto Rodrigo Escobar en el Instituto Nacional de Educación Media Diversificada (INEM) tenían altos estándares de diseño y construcción que, en su mayoría, aún están vigentes. Tal vez esta fue una de las primeras instituciones que optimizó la utilización de la infraestructura y los ambientes especializados, mediante el sistema de rotación de alumnos, es decir, sin asignar aulas fijas para los cursos (figura 2.10).

Figura 2.10.
El Colegio Enrique Olaya Herrera en Bogotá



Fuente: Maldonado (1999).

En 1982, el Programa Ciudad Bolívar, derivado de los planes de desarrollo para Bogotá, fases I y II (Plan Integrado de Desarrollo de la Zona Oriental de Bogotá, PIDUZOB), planteó un cambio fundamental en el concepto de los modelos “tipo”. Propuso modelos repetibles, pero con la flexibilidad de un sistema de diseño adaptable a las diferentes condiciones urbanísticas y topográficas (figura 2.11).

Figura 2.11.
El Colegio Guillermo Cano Isaza en Bogotá (1986)



Fuente: Benavides (2007).

Como parte de este programa, a principios del año 1986 los diseños del arquitecto Oswaldo Escobar, denominados sistema tradicional ortogonal y sistema octagonal experimental de racimo por el arquitecto Jairo Coronado, plantearon agrupar las aulas en bloques de uno y dos pisos en torno a un espacio central recreativo. En el acceso se generó un amplio espacio público con una plaza desde donde se puede ingresar a la zona de usos múltiples sin entrar a la escuela. Además, se aportó un área de recreo cubierta en doble altura, donde se localizaba la tienda escolar. El sistema se adaptaba muy bien a las distintas morfologías y pendientes (figuras 2.12 y 2.13).

Figura 2.12.
Sistema tradicional ortogonal (1986)



Fuente: Benavides (2007).

Figura 2.13.

Sistema octogonal experimental de racimo en el Colegio El Pesebre en Bogotá (1986)



Fuente: Benavides (2007).

En el año 2000, como parte del Complejo Educativo Policarpa Salavarrieta, se planteó un diseño para conservar el carácter abierto del establecimiento educativo y promover las intenciones comunitarias de este. Se propuso un colegio abierto mediante la unión de dos lotes con un “edificio puente”, que respeta el carácter público de la vía peatonal que divide los predios. Las galerías de circulación en cinco pisos se volvieron balcones sobre la plaza, conectados a través de escaleras abiertas. La tarima se reemplazó por un verdadero escenario y el cobertizo, que funcionaba como salón comunal, se convirtió en un aula múltiple con posibilidades de crecer (figura 2.14).

Figura 2.14.

Plantas generales del Complejo Educativo Policarpa Salavarrieta en Bogotá



Fuente: Benavides (2007).

El diseño de los colegios: Norma Técnica Colombiana 4595 (2000)

Una institución educativa debe tener espacios adecuados para actividades de enseñanza, descubrimiento y aprendizaje. En Colombia existen documentos en los que se hace alusión a las condiciones de los espacios para la educación. En 1980 se publicó el *Manual de diseño* del ICCE, seguido de otros textos que

Tabla 2.1.
Comparación de los modelos

Criterios	Modelo republicano 1916	Modelo de 1930 y 1940	Modelo moderno 1938	Modelo de alianza 1966	Modelo experimental 1969	Modelo ICCE 1969	Modelo Barco 1970	Modelo del Programa Ciudad Bolívar
Estándar por estudiante (m ²)	1,4	1,9	2,2	1,6	1,82	1,7	1,9	2,2
Área del aula (m ²)	48,2	60	70	49	64	60	58	70
Capacidad de estudiantes (unidad)	28-35	30	30	30	30-35	30-35	30	30

Fuente: elaboración propia.

complementaron los primeros preceptos para el diseño, la consolidación y la construcción de espacios educativos, publicados por el Ministerio de Educación Nacional, como el libro *Diseño de edificios escolares. Definición de espacios y pre-dimensionamiento de áreas* (1996) y la *Norma Técnica Colombiana NTC 4595: ingeniería civil y arquitectura. Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*. Esta última tuvo dos ediciones en los años 2000 y 2006, y una actualización en el 2015 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Icontec, 2015).

Luego se hicieron públicos otros documentos, como la cartilla *Construyendo pedagogía: estándares básicos para construcciones escolares* (Secretaría de Educación del Distrito y Rivera Realpe, 2000), la cual se desarrolló como parte del Plan Sectorial de Educación 1998-2001 de la Alcaldía Mayor de Bogotá, y *Colegio 10: lineamientos y recomendaciones para el diseño arquitectónico del colegio de jornada única* (Ministerio de Educación Nacional, 2015), una guía para obtener una infraestructura que resuelva el déficit en función de la calidad por medio de la implementación de la jornada única. También se destaca el documento de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco, 1986) sobre los estándares básicos para las construcciones escolares, aunque no está enfocado en las condiciones ambientales del trópico, por lo que algunas de sus recomendaciones pueden resultar contraproducentes en el contexto colombiano.

La NTC 4595 establece las condiciones de planeamiento y diseño físico-espacial de todas las instalaciones educativas nuevas en el país. Está orientada a “mejorar la calidad del servicio educativo en armonía con las condiciones

locales, regionales y nacionales” (Ministerio de Educación Nacional, 2006, p. 1) y sirve como elemento de regulación, evaluación, adaptación y supervisión para cualquier institución.

La norma concibe todas las instalaciones o ambientes escolares desde modelos pedagógicos tradicionales que generan procesos educativos ejecutados de manera intencional y sistemática. Acoge lo dispuesto en la Ley 115 de 1994 (Congreso de la República de Colombia, 1994) y atiende en materia de arquitectura y medio ambiente construido temas de accesibilidad, seguridad y comodidad. Además, contiene unas condiciones básicas que deben cumplirse en el diseño, las cuales se describen y agrupan en ubicación y características de predios, dimensionamiento de las instalaciones escolares, requisitos especiales de accesibilidad, tipos de instalaciones técnicas y sistemas.

La norma presenta un capítulo dedicado a la comodidad, en el que se mencionan las características ambientales que garantizan las condiciones básicas en el aula: comodidad visual, térmica y auditiva, y calidad del aire. Este capítulo integra determinantes geográficos, mediante una clasificación climática única de esta norma, a través de la cual se establecen soluciones adecuadas que pueden implementarse en diferentes lugares del país. La calificación no se relaciona con otras publicadas por el Instituto de Higiene, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Esta clasificación contempla tres tipos de clima, basados solo en las variables de temperatura promedio y humedad relativa. Los agrupa en tres categorías con las cuales se establecen los lineamientos para cada variable de comodidad (tabla 2.2).

Tabla 2.2.
Caracterización climática

Clima	Características
Moderado, frío y templado	Temperatura entre 5 °C y 22 °C con variaciones marcadas entre el día y la noche. Humedad relativa entre 40 % y 60 %.
Cálido seco	Temperatura entre 5 °C y 35 °C con cambios acentuados entre el día y la noche. Humedad relativa entre 10 % y 60 %.
Cálido húmedo	Temperatura entre 22 °C y 32 °C relativamente constante todo el día. Humedad relativa entre 65 % y 95 %.

Fuente: elaborado con base en Ministerio de Educación Nacional (2006).

En la norma, la comodidad visual se centra en las condiciones ambientales para garantizar una visibilidad apropiada en las actividades del Proyecto Educativo Institucional (PEI). Esta norma hace énfasis en la provisión de luz natural; sin

embargo, solo se indican algunos datos sobre la cantidad de luz y la calidad de esta en relación con la disposición de los vanos (tabla 2.3). Según Arango, Giraldo, Cano y Arenilla (2013):

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). (p. 215)

Tabla 2.3.
Área efectiva de abertura

Clima	Área efectiva de abertura
Moderado, frío y templado	1/3 del piso del espacio servido.
Cálido seco	1/4 del piso del espacio servido.
Cálido húmedo	1/5 del piso del espacio servido.

Fuente: elaborado con base en Ministerio de Educación Nacional (2006).

En el subcapítulo 7.2 de la NTC 4595 del año 2000 y en el 8.2 de la versión 2015 las condiciones para proveer de comodidad visual se limitan a la búsqueda de espacios más eficientes desde el punto de vista energético. Por tanto, se dejan de lado factores que también intervienen, como la iluminancia (cantidad de luz). La norma estipula las siguientes condiciones:

- Todos los ambientes deben tener iluminación natural y artificial.
- Las aberturas para el acceso de la luz deben totalizar un área efectiva del piso, según la clasificación climática.
- La iluminación natural debe provenir de espacios exteriores de dimensiones no inferiores a tres metros por tres metros. En el caso de las edificaciones aledañas, la separación debe ser equivalente a la altura comprometida entre el piso fino más bajo y el cielorraso más alto de la edificación.
- Las superficies inferiores de un espacio tienen que proveer coeficientes de reflexión de la luz no inferiores a los indicados en la tabla 2.4.

Por otra parte, la comodidad térmica se refiere a las condiciones ambientales apropiadas para que el clima no perturbe de forma significativa las actividades escolares. La normativa desarrolla su propia clasificación climática. Con los datos de la temperatura promedio y la humedad relativa, caracteriza las localidades en

Tabla 2.4.
Coeficientes de reflexión de la luz

Coeficiente de reflexión	Superficies
15% - 30%	Pisos
50% - 70%	Paredes distintas, pero no enfrentadas a las que tienen abertura
80% o más	Cielorraso

*Se prefieren los fondos de colores sólidos que no produzcan brillo. Los marcos de las ventanas deben tener recubrimientos que garanticen una reflectividad superior al 80 %.

Fuente: elaborado con base en Ministerio de Educación Nacional (2006).

una de las tres categorías expuestas y establece las dimensiones adecuadas de los vanos para la ventilación (tabla 2.5). La NTC 4595 indica que para controlar la radiación solar las edificaciones escolares deben orientarse de manera que la mayor cantidad de superficies exteriores y aberturas sean perpendiculares al eje norte-sur. Así, deben contar con aleros y aletas que eviten o controlen el paso directo de los rayos solares. También considera el comportamiento térmico de los materiales de cerramientos verticales y horizontales o cubiertas.

Tabla 2.5.
Parámetros de la comodidad térmica

Ítem	Clima	Parámetro
Orientación de las aberturas	Cálido seco	Aberturas orientadas de tal forma que el viento incida en ángulos entre 30° y 90°.
	Cálido húmedo	Aberturas orientadas de tal forma que el viento incida en un ángulo de 45°. De no ser así, se deben usar elementos de fachada que contribuyan a encauzar las corrientes de aire utilizables.
	Moderado, frío y templado	Aberturas en caras exteriores con mínima exposición a los vientos predominantes.
Área efectiva de las aberturas	Cálido seco	El área efectiva de las aberturas para la ventilación debe ser de 1/9 del área de la planta.
	Cálido húmedo	El área efectiva de las aberturas para la ventilación debe ser de 1/6 del área de la planta.
	Moderado, frío y templado	El área efectiva de las aberturas para la ventilación debe ser de 1/15 a 1/12 del área de la planta.
Altura del techo	Cálido seco	La altura mínima del piso al techo debe ser de tres metros.
	Cálido húmedo	La altura mínima del piso al techo debe ser de tres metros.
	Moderado, frío y templado	La altura mínima del piso al techo debe ser de 2,7 metros.

Fuente: elaborado con base en Ministerio de Educación Nacional (2006).

La comodidad auditiva hace énfasis en la adecuación sonora de los recintos educativos para la buena audición sin utilizar medios electrónicos de amplificación. Plantea el acondicionamiento acústico con el desarrollo del aislamiento y del acondicionamiento interior. Así, se confunden los conceptos básicos de la acústica arquitectónica para abordar las condiciones de un espacio a través de los conceptos de aislamiento y acondicionamiento.

Los niveles expuestos en la tabla 2.6 han sido objetos de discusión en la comunidad académica del área acústica, dado que hacen referencia a los niveles máximos de intensidad de sonido y no a los de presión sonora. Los niveles e indicadores que se asocian internacionalmente con la evaluación del ruido de fondo en los recintos son los de presión sonora continua equivalente. El nivel de intensidad de sonido o acústica es un indicador referente a la capacidad de generar y propagar sonido de una fuente, por tanto, no funciona para evaluar el ruido en un ambiente educativo. El documento *Guías para el ruido urbano* (Organización Mundial de la Salud, 1995) describe el ruido como un factor crítico en la comunicación oral. De acuerdo con esto, se establece que para oír y comprender los mensajes en un aula el valor no debe ser superior a 35 dB LAeq.

Tabla 2.6.
Niveles máximos de intensidad del sonido

Ambientes (recintos sin ocupar)	Nivel de intensidad del sonido en decibelios (dB)	Caracterización
B y F para música	35 a 40	Silencio
A y C en laboratorios	40 a 45	Conversación en voz baja
C en artes y oficinas	45 a 50	Conversación natural
C en tecnología y D, E y F en baños y depósitos	Hasta 60	Voz humana en público

Fuente: Ministerio de Educación Nacional. (2006).

Según la NTC 4595, el acondicionamiento acústico interior debe asegurar que el sonido se distribuya de modo adecuado para alcanzar a los puestos más retirados. Se proponen unos tiempos de reverberación (tabla 2.7), de acuerdo con el tipo de ambiente educativo. En este caso, hace falta aclarar las bandas de frecuencia de los tiempos de reverberación medio esperados, concepto que no se aborda en la norma.

Tabla 2.7.
Tiempos de reverberación

Ambientes	Tiempos de reverberación en segundos
B	Hasta 0,9
A y oficinas	De 0,9 a 1
C y E	De 0,9 a 1,2
F	De 0,9 a 2,2

Fuente: Ministerio de Educación Nacional. (2006).

Normativa sobre la salud mental y la educación

En Colombia se dieron tres momentos históricos importantes frente a la salud mental. Entre 1960 y 1993, el modelo se basó en los trastornos mentales y en su atención; sin embargo, avanzado 1993, se produjo una transformación del modelo con la creación del Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS), mediante la Ley 100 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993), y, por ende, de la forma de ver y abordar la salud mental.

Entre 1993 y el 2012, apareció un modelo basado en la atención primaria. En el 2005, el Estado colombiano declaró que la salud mental es una prioridad en la salud pública (Ministerio de Salud y Protección Social, 2005). A partir del 2012, se siguió el modelo integral de atención que se encuentra vigente y se ve reflejado en el Plan Decenal de Salud Pública 2012- 2021, en específico en la dimensión de convivencia social y salud mental (Ardón y Cubillos, 2012). Con esta dimensión se planea promover la salud mental, la convivencia, la transformación de problemas y trastornos prevalentes y la intervención sobre las diferentes formas de violencia para contribuir al bienestar y al desarrollo humano y social. De acuerdo con el Ministerio de Salud y Protección Social (2013), los objetivos principales de la dimensión son:

- a. Generar espacios que contribuyan al desarrollo de oportunidades y capacidades de la población que permitan el disfrute de la vida y el despliegue de las potencialidades individuales y colectivas para el fortalecimiento de la salud mental, la convivencia y el desarrollo humano y social.*
- b. Contribuir a la gestión integral de los riesgos asociados a la salud mental y la convivencia social, mediante la intervención de los factores de riesgo y el mejoramiento de la capacidad de respuesta institucional y comunitaria en esta temática.*
- c. Disminuir el impacto de la carga de enfermedad generada por los eventos, problemas y trastornos mentales y las distintas formas de violencia, a través del*

fortalecimiento y la ampliación de la oferta de servicios institucionales y comunitarios en salud mental, que aumenten el acceso a quienes los requieren y permitan prevenir la cronificación y el deterioro y mitigar daños evitables. (p.193)

Se evidencian cambios normativos importantes; incluso, se expidió la Ley Nacional de Salud Mental o Ley 1616 del 2013 (Congreso de la República, 2013) para garantizar el ejercicio pleno del derecho a la salud mental de la población colombiana. Se priorizaron los niños y adolescentes, mediante la promoción de la salud, la prevención del trastorno mental y la atención integral e integrada en el ámbito del SGSSS.

Los elementos nombrados dan cuenta de lo que se tiene en materia de salud mental en el ámbito normativo en Colombia y sustentan la importancia del abordaje y de la realización del presente proyecto investigativo. Ahora bien, en cuanto a la normatividad educativa en el país, se tiene el inciso 1.º del artículo 67 de la Constitución Política (Asamblea Nacional Constituyente, 1991), en el que se plantea que la educación es un derecho y un servicio público con una función social, que busca favorecer el acceso al conocimiento, a la ciencia, a la técnica y a los demás bienes y valores de la cultura.

Al respecto, conforme se prescribe en el inciso 5.º del mismo artículo, el Estado es responsable de regular, inspeccionar y vigilar la calidad de la educación, con el fin de velar por las buenas condiciones de vida de las personas, su formación moral, intelectual y física. Además, debe garantizar el adecuado cubrimiento del servicio y asegurar a los menores el acceso y la permanencia en el sistema educativo. Por otra parte, según el artículo 4.º de la Ley 115 de 1994 (Congreso de la República de Colombia, 1994), el Estado debe atender de forma permanente los factores que favorecen la calidad y el mejoramiento de la educación.

El Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019, consolidado por el actual alcalde de Medellín, Federico Gutiérrez Zuluaga, y su equipo de trabajo, muestra una mirada al desarrollo de una educación con calidad, a través de la contribución al mejoramiento de los servicios y la infraestructura para que se garantice el derecho a la educación y se consigan los más altos estándares de calidad (Alcaldía de Medellín, 2016).

En resumen, el Estado, con su normatividad, sustenta el interés en el ámbito educativo y en el progreso de los sistemas actuales para apuntar a una educación que favorezca el desarrollo humano. De este modo, lo dispuesto en el Decreto 501 del 2016 (Presidencia de la República de Colombia, 2016), que reglamenta la jornada única, se relaciona con lo planteado por el Gobierno en leyes anteriores,

dado que pretende implementar nuevas disposiciones que mejoren la calidad educativa. Este tiene como objetivos principales aumentar el tiempo dedicado a las actividades pedagógicas en el establecimiento educativo para fortalecer las competencias básicas y ciudadanas de los estudiantes; mejorar los índices de calidad educativa en los establecimientos de preescolar, básica y media; y reducir los factores de riesgo y vulnerabilidad a los que están expuestos los estudiantes en su tiempo libre. En este decreto se mencionan dos componentes básicos que resultan interesantes para los investigadores del presente estudio: el recurso humano docente y la infraestructura educativa. En cuanto al recurso humano se plantean cinco acciones principales:

1. Evaluar variables como la relación alumno-docente, el tamaño del grupo, la disponibilidad de la infraestructura, la matrícula mínima a atender con la planta de docentes oficiales, la matrícula atendida mediante la contratación de la prestación del servicio, entre otras, para garantizar la eficiencia de la distribución, organización y asignación de la planta docente en los establecimientos educativos y atender los requerimientos de la implementación de la jornada única.
2. Establecer metas en las relaciones técnicas alumno-docente y el tamaño del grupo, avaladas por el Ministerio de Educación Nacional, y reportar periódicamente los avances en su cumplimiento.
3. Reportar al Sistema de Matrícula Estudiantil de Educación Básica y Media (SIMAT) la información vinculada con la matrícula atendida en la jornada única.
4. Reorganizar los tamaños de los grupos para aumentar la cobertura en la jornada única, en caso de tener reducciones en la matrícula frente a los años anteriores.
5. Asignar a los establecimientos en jornada única un personal administrativo que apoye la gestión institucional, de manera que se cumplan los objetivos de la jornada, mediante el uso eficiente de los recursos y medios necesarios para la prestación del servicio educativo.

Durante la implementación de la jornada única se debe priorizar el uso de la infraestructura disponible y en buen estado. Asimismo, para el uso eficiente de la infraestructura, las entidades deben adoptar estrategias de reorganización de la atención educativa; entre estas, la movilización de los estudiantes matriculados en la jornada de la tarde hacia la diurna. Igualmente, tienen que evaluar las

necesidades de mejoramiento, mantenimiento y adecuación de la infraestructura; así, podrán presentar proyectos para su financiamiento.

En efecto, es importante retomar lo reportado por estudios como los de Párraga y García (2005) y Rodríguez y Matus (2002), que encontraron efectos negativos, como la disminución de la prosocialidad y el aumento de los niveles de estrés y agresividad, relacionados con el ruido en las aulas. Otras investigaciones han mostrado el impacto que tienen las condiciones desfavorables de la infraestructura en el rendimiento escolar y el proceso de enseñanza. Han aparecido consecuencias fisiológicas, cognitivas y emocionales que se manifiestan a corto o largo plazo —como efectos acumulativos— en la población estudiantil y docente (Lazarus y Folkman, 1991; Rodríguez y Matus, 2002). Además, estudios recientes reportan que el desgaste de la salud mental es una de las principales alteraciones en el ejercicio docente. Este deterioro deriva de otras condiciones, como la sobrecarga de trabajo, los espacios físicos no óptimos para la enseñanza, la exposición a grupos numerosos, la escasez de recursos pedagógicos y tecnológicos, y la implementación de metodologías de enseñanza catedráticas, lo cual lleva a que la tiza y la voz sean las únicas herramientas de trabajo (Connolly, Dockrell, Shield, Conetta y Cox, 2013; García y Muñoz, 2013; OREALC-Unesco, 2005; Párraga y García, 2005; Rodríguez y Matus, 2002).

Capítulo 3

Comodidad

Comodidad térmica

Las primeras definiciones del confort se remontan a los desarrollos de Houghton y Miller (1925) en condiciones de laboratorio. Los autores definieron una escala para la temperatura efectiva (*effective temperature*, ET), que corresponde a la temperatura que sienten las personas por efecto de la humedad, la cual puede diferir de la que se registra a través de los instrumentos. En relación con esto, Gómez-Azpeitia, Bojórquez Morales y Ruiz Torres (2007) explican que en 1925, mediante estudios con voluntarios en el laboratorio, los autores establecieron que la temperatura de la piel es un buen indicador de la sensación de confort térmico para contextos de clima frío, mientras que la humedad en la piel puede ser un mejor indicador observable en contextos cálidos.

En la búsqueda del confort térmico y, por ende, en los estudios para definir los niveles de confort se deben incluir la humedad relativa y el movimiento del aire. De acuerdo con Cengel y Boles (2006): “la humedad relativa también tiene un efecto considerable en el bienestar, pues influye en la cantidad de calor que un cuerpo puede disipar por evaporación [...] la mayoría de la gente prefiere una humedad relativa de 40 a 60 %” (p. 743). Por otra parte, la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2004) “no especifica un nivel mínimo de humedad, sin embargo, factores de no comodidad térmica, conllevan sequedad de la piel, irritación de las membranas mucosas, sequedad de los ojos y la generación de electricidad estática” (p. 6).

El viento reduce la cantidad de vapor de agua del aire, lo que permite que el cuerpo libere calor por medio de la evapotranspiración. Según Silver y McLean (2008), “una brisa de unos 50 centímetros por segundo proporciona una reducción de temperatura de unos 3 °C” (p. 72). La ASHRAE (2004) indica que la velocidad del viento se debe ubicar alrededor de 0,20 m/s (40 fpm).

De los estudios en el laboratorio en condiciones ambientales controladas y de trabajos de campo o combinados derivaron investigaciones con el fin de establecer, en primera instancia, la respuesta fisiológica de las personas a las condiciones climáticas. Luego, los estudios se enfocaron en el desarrollo de indumentaria militar y de condiciones de trabajo para los distintos ambientes. Otro grupo de

investigaciones se preocupó por definir los rangos entre los cuales las personas manifiestan el confort en un espacio.

Entre 1950 y 1970 se instalaron en el escenario internacional las investigaciones de Fanger (1970), las cuales involucraron a miles de personas en América y Europa, y se realizaron en condiciones ambientales controladas en el laboratorio. El autor retomó la escala térmica desarrollada años antes por Bedford (1946). Como resultado, propuso un modelo para predecir la sensación térmica de las personas en determinadas condiciones de actividad y ropa en un espacio. Las investigaciones mostraron que la sensación térmica está relacionada con la ganancia térmica, como efecto del sistema termorregulador del cuerpo humano. Fanger la asumió en función de la actividad y la ropa, aspectos que, junto con parámetros ambientales, como la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la humedad relativa y la velocidad del aire, permiten predecir la sensación térmica de los ocupantes. A partir de esta, se determinan el porcentaje de las personas que estarán confortables en un espacio o el voto medio previsto (*predicted mean vote*, PMV) y el porcentaje previsible de insatisfechos (*predicted percentage of dissatisfied*, PPD).

La propuesta de Fanger sirvió de base para la formulación de las normas internacionales alrededor del confort (ASHRAE e International Organization for Standardization, ISO) y de las Normas Técnicas Colombianas (NTC). La popularidad de los estudios de este autor radica en que, sin entrar a definir un rango de confort, el cual puede ser inaplicable en diferentes situaciones y contextos, ayudan a establecer el porcentaje de las personas que se encontrarán satisfechas o no en un espacio. En consecuencia, son herramientas útiles en los momentos iniciales del diseño.

Modelos para determinar la comodidad térmica en los climas cálidos

Los modelos para evaluar la comodidad o el confort térmico resultado de los estudios en el laboratorio comenzaron a entrar en crisis al aplicarse en ambientes “reales” o cotidianos, que no tienen condiciones controladas de climatización. A partir de la década de 1980 varios autores en diferentes partes del mundo empezaron a poner en duda los resultados del modelo presentado en las normas, denominado predictivo. Sostenían que estos no eran replicables en todos los contextos, en especial en los tropicales, donde los edificios están ventilados naturalmente y no requieren de climatización artificial constante la mayor parte del día y del año.

Como indican Gómez-Azpeitia, Bojórquez Morales y Ruiz Torres (2007), estudios desarrollados por Auliciems (1981) y De Dear, Brager, Reardon y Nicol (1998) demostraron que las investigaciones en el mundo “real” arrojan resultados diferentes a los propuestos por los rangos universales de las normas internacionales. Otros autores como Humphreys (1994, 1995) y Oseland (1995) evidenciaron que personas con la misma ropa y actividad pueden tener opiniones distintas en cuanto al confort. Esto también lo desarrollaron Humphreys y Nicol (1998) en estudios con trabajadores de fábricas en entornos reales. Por su parte, Haghighat y Donnini (1999), De Dear y Brager (1998), González y Bravo (2001), Nicol (2004) y Busch (1995) mostraron que los métodos universales para definir estándares y calcular el confort son inadecuados frente a las variaciones culturales y climáticas de las personas y su interpretación del confort. Autores como Parsons (2002) realizaron experimentos alrededor del género, la edad y la actividad.

En dichos estudios, los rangos establecidos por Fanger (1970) y, luego, por las normas ANSI-ASHRAE 55 (2004) e ISO 7730 (2015) no reflejan las condiciones del confort de las personas que habitan en climas tropicales ni en ambientes no climatizados. Además, subestiman la capacidad de adaptación de estas a las altas temperaturas y la humedad.

Por lo anterior surgió en el panorama mundial el enfoque adaptativo, el cual propone el concepto de confort como un proceso dinámico más allá de un atributo fijo preestablecido. Entre las principales hipótesis de este modelo está que la sensación térmica se ve influenciada por algunos aspectos que no son cuantificables, como la cultura, los hábitos y las tradiciones. Otros de los factores que no son considerados por el modelo de Fanger son la edad, el sexo y los ritmos diarios y estacionales, que también pueden afectar la sensación térmica. El modelo también tiene como hipótesis que, frente a las condiciones climáticas cambiantes, la posibilidad de adaptación de las personas tiene un efecto sobre la sensación térmica. Por consiguiente, para evaluar las preferencias térmicas en edificios en escenarios diferentes es necesario considerar aspectos más allá de los físicos y fisiológicos, lo cual implica hacer evaluaciones acordes con el contexto de análisis (Tablada, De la Peña y De Troyer, 2005).

En los edificios ventilados de modo natural existe una relación más estrecha entre el interior y el exterior desde el diseño; como consecuencia de esto, las personas pueden aceptar condiciones térmicas cambiantes. En ambientes con temperaturas más cálidas, las personas tienden a disminuir su actividad o cambiar su postura (Olesen y Parsons, 2002), acciones difíciles de evaluar —según el

método adaptativo— en un estudio corto o instantáneo (Tablada, De la Peña y De Troyer, 2005).

En la percepción del confort no solo intervienen fenómenos de termorregulación en el cuerpo, sino también factores culturales como el acostumbamiento. Esta afirmación se da a partir de un estudio realizado en Australia con trabajadores de oficinas de tres ciudades (Darwin, Brisbane y Melbourne), quienes estaban acostumbrados y preferían trabajar en edificios ventilados de manera natural, aun cuando había temperaturas más elevadas (De Dear y Brager, 1998). En este mismo contexto, investigaciones revelan que para las personas con escasos recursos que habitan con frecuencia edificios ventilados naturalmente el umbral del confort se puede incrementar hasta 4,5 °C.

Los estudios adaptativos se basan en ecuaciones que relacionan la temperatura neutral interior con el promedio de la temperatura exterior; este último es la variable que se usa para establecer el confort y tiene un impacto indirecto en el balance térmico de las personas (Goto, Toftum, De Dear y Fanger (2002). Es usual que se defina una línea de confort, ya sea con datos tomados con sensores en un tiempo determinado corto o con datos oficiales de periodos más amplios. Esta línea o franja de confort térmico es determinada por varios métodos. Nicol, Humphreys y Roaf (2015), quienes han trabajado el confort térmico en ambientes escolares, proponen $\pm 2,5$ grados.

Comodidad térmica en los colegios

Diversas investigaciones se han desarrollado en torno al impacto que tienen las condiciones ambientales de los centros educativos en el rendimiento de los estudiantes y en la labor de los docentes. Debido a que el aula escolar es el entorno de trabajo de ambos grupos, además de un espacio con ocupación alta y prolongada durante el día, debe tener las condiciones idóneas para que se mantengan atentos, receptivos y productivos.

Pepler y Warner (1968) ofrecen una interesante revisión de las primeras investigaciones científicas acerca de los efectos de la calidad térmica en el rendimiento de los estudiantes. Este tema ha sido debatido y analizado por diferentes expertos, dado que, como afirman Faustman, Silbernagel, Fenske, Burbacher y Ponce (2000), la preocupación principal es que los niños son más sensibles al ambiente térmico que los adultos. Aunque dentro del aula los menores corresponden a la mayoría de los usuarios, ellos tienen menos posibilidades de modificación de este ambiente.

En la teoría de la comodidad adaptativa los ocupantes se consideran agentes activos en la creación de condiciones térmicas interiores “ideales”, mediante el ajuste de sus comportamientos o la modificación de los entornos (De Dear y Brager, 1998). Por lo tanto, el grado en que los niños en edad escolar pueden practicar conductas adaptativas en el contexto del aula es fundamental para comprender mejor su percepción del confort y las actitudes hacia los entornos térmicos del aula; no obstante, un estudio realizado en Brasil informa que los niños en edad escolar rara vez modifican el entorno porque creen que necesitan permiso antes de interferir (Bernardi y Kowaltowski, 2006). Es usual que los profesores o adultos a cargo asuman de modo automático la responsabilidad de gestionar el entorno físico de las aulas (Teli, Jentsch y James 2012).

Quedan dudas sobre si los ajustes ambientales de un maestro reflejan con éxito los requisitos de los estudiantes, puesto que los niños tienen un metabolismo más alto que los adultos; por lo tanto, los requisitos para el entorno térmico interior son diferentes y los estándares de comodidad para los adultos pueden ser inadecuados para los niños (Kim y de Dear, 2018).

Además, la sensación térmica está influenciada por múltiples aspectos físicos, espaciales o propios de las personas, como la edad y el género; además, no hay consenso sobre la existencia de una diferencia significativa entre la percepción del ambiente térmico entre los géneros (Yang, Nam, Yun, Kim, Lee y Sohn, 2015). Por ejemplo, un estudio sobre la comodidad térmica de los niños de una escuela primaria en verano, desarrollado en el Reino Unido (Humphreys, 1977), indicó que difirieron de modo significativo entre ellos en sus respuestas subjetivas a la temperatura, pero no hubo una diferencia apreciable entre las respuestas de los niños y las niñas. Otra investigación, en la cual se aplicaron cuestionarios para obtener la sensación térmica real y el aislamiento de la ropa de los estudiantes, determinó que hubo una pequeña diferencia en la adaptación de la ropa entre los niños y las niñas. Además, ellas mostraron una mayor adaptación (Ter Mors, Hensen, Loomans y Boerstra, 2011).

Por otra parte, la tasa metabólica producida por la actividad desarrollada se debe tener en cuenta de forma adecuada para obtener estimaciones precisas del flujo de energía. Sin embargo, los índices metabólicos promedio están calculados empíricamente para una población adulta (Vanos, 2015) y esto podría ocasionar una inexactitud en el valor sugerido para la tasa metabólica de los menores, debido a que estos, según la edad en la que se encuentren, tienen una producción de calor diferente e, incluso, superior a la de un “hombre promedio”.

Las investigaciones también han intentado determinar en qué medida el ambiente térmico altera los resultados académicos de los niños, puesto que se ha encontrado que la mayoría de las aulas escolares experimentan temperaturas elevadas en el aire durante el aumento de las cargas térmicas, por ejemplo, en climas cálidos. Esto muestra que proporcionar medios para evitar las temperaturas elevadas mejoraría el logro educativo (Wargocki y Wyon, 2007). Sin embargo, la influencia de la temperatura en las pruebas de rendimiento del aprendizaje varió de forma diferencial, según los tipos de tareas para varias investigaciones, en las que se asoció el ambiente térmico de las aulas con pruebas matemáticas, lógicas y de comprensión lectora. Como punto de encuentro, los autores establecieron que la zona de confort en las aulas escolares no puede estar en lugar de entre -1 y 0, como se obtiene de la productividad adulta (Jiang, Wang, Liu, Xu, y Liu, 2018). Esta se movió entre -4 y 1 (Wargocki y Wyon, 2007).

La sensación térmica real no es compatible con el uso de los métodos actuales de evaluación del confort térmico adaptativo. De manera similar a las predicciones del PMV, los límites adaptativos subestiman la sensación térmica y predicen temperaturas más altas y confortables que las indicadas por los niños. Esto significa que los métodos aplicados para las escuelas primarias no son correctos. Cumplir con estas demandas no necesariamente conduce a una situación cómoda para los niños (Ter Mors, Hensen, Loomans y Boerstra, 2011).

Comodidad visual

En la normativa europea UNE-EN-12665. *Iluminación. Términos básicos y criterios para la especificación de los requisitos de alumbrado* se describe el confort visual como “la condición subjetiva de bienestar visual inducida por el entorno visual” (Asociación Española de Normalización, 2012, p. 8). De acuerdo con Arango-Díaz (2011), la comodidad visual puede ser definida como la sensación psicofisiológica de satisfacción con el ambiente lumínico alrededor. Ambas definiciones consideran el ambiente visual o el lumínico alrededor, por tanto, incluyen mínimamente todo lo relacionado con el campo visual y el plano de trabajo. En el libro *Eficiência energética na arquitetura* se hace referencia al confort visual como:

la existencia de un conjunto de condiciones, en un determinado ambiente, en el cual el ser humano puede desarrollar sus tareas visuales con máxima agudeza y precisión visual, con el menor esfuerzo, con menor riesgo de perjuicios a la vista y reducidos riesgos de accidentes. (Lamberts, Dutra y Pereira, 2012, p. 57)

Además de la satisfacción o el bienestar expuesto en las anteriores definiciones, en la última se evidencian las condiciones visuales sobre las que se deberían desarrollar las tareas visuales para la existencia del confort visual. Por otro lado, en la norma ISO 16813 (International Organization for Standardization, 2006) se profundiza en la definición en cuanto a las condiciones que deberían considerarse para que exista la comodidad visual. Se hace referencia a esta como la “satisfacción de los ocupantes con el ambiente visual alrededor, descrito en términos del nivel lumínico, deslumbramiento, visibilidad, reflejos y conformidad psicológica y fisiológica con la iluminación natural y artificial” (p. 4). Con base en lo anterior, se concluye que para favorecer el confort visual y optimizar las condiciones ambientales para ver bien, con agudeza y precisión, sin esfuerzos ni riesgos, es necesario, como mínimo:

1. Garantizar niveles lumínicos adecuados sobre el plano de trabajo (no insuficientes ni excesivos).
2. Controlar la distribución de luminancias en el campo visual (brillos o contrastes insuficientes o excesivos que generen deslumbramiento).
3. Evitar reflejos molestos sobre las superficies observadas.
4. Favorecer la buena reproducción de los colores.
5. Evitar intermitencias molestas de las fuentes de iluminación artificial.

En Colombia no hay evidencia de la existencia de normativas locales en las que se definan, se establezcan parámetros y se haga referencia directa a la comodidad visual. En el primer anexo de la Resolución 0549 del 2015, la cual reglamenta los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, se hace una mínima referencia al confort visual al establecer que “la selección de sistemas de luz natural debe asegurar confort interno tanto visual como térmico” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015). No obstante, no establece lineamientos ni referencias para lograrlo.

Solo la NTC 4595 (Ministerio de Educación Nacional, 2006), en su subcapítulo 8.2, establece características ambientales con las que se garantizaría el confort visual. En la norma se hace referencia a este como “las condiciones ambientales necesarias para garantizar una visibilidad apropiada en las distintas actividades propuestas por el Proyecto Educativo Institucional” (p. 21). Se enfoca en que durante la mayor parte del tiempo de la jornada escolar se puedan satisfacer

las necesidades lumínicas con el uso de la luz natural y no de la luz artificial, es decir, hace énfasis en la eficiencia energética.

En el desarrollo del subcapítulo también se establecen el área y la localización de las aberturas en función del área del piso del ambiente, el clima, el uso de los dispositivos de sombra y la profundidad del recinto. A pesar de que es un numeral dedicado a la comodidad visual, es decir, que no solo tiene que ver con el nivel lumínico en el plano de trabajo, sino también con evitar el deslumbramiento, en la parte final se indica que si a través de cálculos, mediciones o simulaciones computacionales se logra un nivel lumínico en las aulas igual o superior a 300 lux (lo mismo que se establece para la iluminación artificial), un factor de luz día no inferior al 2 % y una uniformidad no inferior a 0,6, no será necesario incorporar las características ambientales descritas en la norma. Lo anterior evidencia que más que un apartado para garantizar la comodidad visual es una pauta que busca niveles lumínicos adecuados sobre el plano de trabajo para minimizar el uso de la iluminación artificial. Esto representa una limitación para la garantía de la generación de ambientes visualmente cómodos en instituciones educativas y demuestra una mayor preocupación por la eficiencia energética.

Comodidad visual y nivel lumínico

El nivel lumínico —o iluminancia— se puede definir como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y su extensión. En la práctica suele conocerse como la cantidad de luz que incide en una superficie. Su unidad de medida es el lux.

La norma ISO 8995:2002 (CIE S 008/E-2001) (International Organization for Standardization, 2002) establece una iluminancia mantenida (E)¹ recomendada de 500 lux para las aulas. En Colombia, el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (Retilap, Ministerio de Minas y Energía, 2010) ha servido de guía para establecer niveles lumínicos de ambientes interiores. Para las aulas, establece un nivel lumínico medio de 500 lux.

En relación con la iluminancia, la norma ISO 8995:2002 (CIE S 008/E-2001) expone dos temas adicionales: la iluminancia de los alrededores cercanos y la uniformidad². Sobre la primera establece que se debe considerar una iluminancia

-
1. Según la norma, esta iluminancia hace referencia al “valor por debajo del cual la iluminancia media de una superficie específica no debería caer”.
 2. Radio entre la iluminancia mínima y la media.

mantenida (E) relacionada con la iluminancia para desarrollar la tarea visual y con un valor ligeramente menor a esta, puesto que los cambios contundentes alrededor de la tarea visual pueden ocasionar estrés visual e incomodidad visual (tabla 3.1).

Tabla 3.1.

Iluminancias recomendadas en los alrededores inmediatos a la tarea visual

Iluminancia de la tarea visual (lux)	Iluminancia en los alrededores inmediatos (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Idéntica a la iluminancia de la tarea visual

Fuente: International Organization for Standardization (2005).

Acerca de la uniformidad reitera que la iluminancia debe variar gradualmente y que no debe ser menor a 0,5 en las áreas inmediatas alrededor de la tarea visual. Para cuantificar la iluminación natural existen varias métricas con diferentes enfoques. Según su relación temporal, pueden ser estáticas o dinámicas. La forma típica de apoyarse en simulaciones computacionales para realizar cálculos lumínicos consiste en que, una vez construido el modelo arquitectónico, se escoge la fecha, la hora y el tipo de cielo, de manera que el programa computacional realice cálculos para evidenciar la distribución de iluminancias al interior de los ambientes. Si el objetivo es conocer el desempeño de determinado ambiente en el año, se deberán hacer varias simulaciones para varios días y horarios y, probablemente, modificando el tipo de cielo, según el criterio de quien realiza el cálculo. Este tipo de simulaciones se conocen como estáticas.

Para facilitar y optimizar los cálculos sobre el desempeño lumínico realizados con la simulación computacional, se desarrolló una técnica que utiliza archivos climáticos, denominada *climate based daylight modelling* (CBDM). A partir de métricas dinámicas, esta identifica el porcentaje de tiempo al año que un punto del ambiente interior alcanza cierto nivel lumínico, con el uso de modelaciones teóricas de los tipos de cielo locales predominantes calculados con datos climáticos, como la radiación. La ventaja de las simulaciones dinámicas sobre las estáticas, además del menor tiempo, consiste en una mayor precisión para conocer el desempeño anual de determinado ambiente, así como la certeza de que los tipos de cielo utilizados son los más cercanos a la realidad.

Dentro de las métricas dinámicas se destacan la *daylight autonomy* (DA) (Reinhart, Mardaljevic y Rogers, 2006) y la *useful daylight illuminance* (UDI)

(Mardaljevic, Andersen, Roy y Christoffersen, 2012; Nabil y Mardaljevic, 2006). La DA hace referencia al porcentaje de tiempo al año que un punto del ambiente interior registra 300 lux o más. Por otro lado, la UDI calcula el porcentaje de tiempo al año que un punto registra un nivel lumínico insuficiente ($UDI-f < 100lx$), suficiente con necesidad de refuerzo de luz artificial ($300lx > UDI-s > 100lx$), suficiente autónomo ($3000lx > UDI-a > 300lx$) y excesivo ($3000 < UDI-e$).

Con estas métricas se han desarrollado otras como la *spatial daylight autonomy* (sDA) (IESNA, 2012), la cual indica el porcentaje del área evaluada que excede un valor de iluminancia de referencia para una fracción de tiempo específica. Por ejemplo, la sDA 300 lux/50 % señala el porcentaje del área total evaluada de un ambiente que excede 300 lux por, al menos, el 50 % del tiempo operativo al año.

Comodidad visual y deslumbramiento

Evitar el deslumbramiento es uno de los requisitos básicos para lograr la comodidad visual. Según IESNA (2000), este se define como la sensación generada por luminancias en el campo visual que son suficientemente mayores a las que los ojos están adaptados. De acuerdo con la norma ISO 8995:2002 (CIE S 008/E-2001), es “la sensación visual producida por áreas brillantes dentro del campo visual y puede sentirse como deslumbramiento incapacitante (*disability glare*) y deslumbramiento incómodo (*discomfort glare*)” (International Organization for Standardization, 2005, p. 5).

El incapacitante es el que impide la visión. Según Wienold (2010), “sucede cuando una fuente de luz muy brillante se localiza en el campo visual”. Un ejemplo de esto en los ambientes escolares se da cuando los estudiantes pueden ver directamente el sol o reflexiones especulares de este. Por otro lado, el incómodo hace referencia a la sensación molesta, no incapacitante. En consecuencia, se infiere que es una sensación que ocurre antes del deslumbramiento incapacitante, razón por la cual ha sido objeto de estudio con métricas que buscan predecir las condiciones en que este ocurriría y con qué intensidad. Algunas de las métricas más utilizadas son *daylight glare probability* (DGP), *daylight glare index* (DGI), *unified glare rating* (UGR), *visual comfort probability* (VCP) y *CIE glare index* (CGI). La DGP y la DGI se formularon para el deslumbramiento asociado a la luz natural y las tres restantes para el vinculado a la artificial.

Resultados de diversas investigaciones evidencian que no hay consenso sobre cuál de las cinco métricas posee un mejor desempeño para predecir el

deslumbramiento (Jakubiec y Reinhart, 2011; Van Den Wymelenberg e Inanici, 2014; Yong, Schiler y Kensek, 2017). A pesar de esto, hoy, la DGP es una de las más utilizadas. A partir de los hallazgos de una investigación sobre la comparación de métricas de deslumbramiento en oficinas, Van Den Wymelenberg e Inanici (2014) encontraron que la iluminancia vertical se correlacionó mejor que estas métricas con las respuestas de los sujetos evaluados acerca de la percepción de ambientes óptimos o ligeramente confortables.

Comodidad visual en las aulas y el rendimiento cognitivo de los estudiantes

La búsqueda de ambientes escolares visualmente cómodos ha sido recurrente desde hace varios años (Korsavi, Zomorodian y Tahsildoost, 2016; Michael y Heracleous, 2017; Moreno y Labarca, 2015; Piderit y Bodart, 2012; Piderit, Díaz, Trebilcock, Guzmán y Muñoz, 2013; Trebilcock Kelly, Soto Muñoz, Figueroa San Martín y Piderit-Moreno, 2016; Zomorodian y Tahsildoost, 2017). La comodidad visual no es exclusiva de la iluminación natural, es decir, puede lograrse en ambientes iluminados de manera natural, artificial o conjugada. No obstante, están documentados varios beneficios de tener espacios iluminados naturalmente por encima de los iluminados de manera artificial (California Energy Commission, 2003a, 2003c; Figueiro, Rea, Rea y Stevens, 2002; Heschong Mahone Group, 1999; Küller y Lindsten, 1992).

Varias investigaciones han profundizado en los beneficios de la luz natural sobre las personas en cuanto a la mejora de la productividad laboral (Figueiro, Rea, Rea y Stevens, 2002; Heschong Mahone Group, 2003; Heschong, Wright y Okura, 2002; Nicklas y Bailey, 1997; California Energy Commission, 2003b); la salud física, el crecimiento y la absorción vitamínica (Bakke y Nersveen, 2013; Dumont y Beaulieu, 2007; Edwards y Torcellini, 2002; Küller, Ballal, Laike, Mikellides y Tonello, 2006; Küller y Lindsten, 1992; Roennenberg, Allebrandt, Mellow y Vetter, 2012); el comportamiento, el estrés y la interacción (Shemirani, Memarian, Naseri, Nejad y Vaziri, 2011; Crespo, 2006; Edwards y Torcellini, 2002); y el desempeño académico (Bernardi y Kowaltowski, 2006; Cachán, Carbelo, García y Mateo, 2012; California Energy Commission, 2003a, 2003c; Heschong Mahone Group, 1999a, 1999b; Plympton, Conway y Epstein, 2000; Shishegar y Boubekri, 2016; Trebilcock Kelly, Soto Muñoz, Figueroa San Martín y Piderit-Moreno, 2016).

Otras investigaciones han optado por trabajar en el desempeño académico según la temperatura del color y el nivel de la iluminación artificial. Se han

encontrado menores errores de omisión, mayor comprensión lectora y mayor velocidad de lectura con niveles lumínicos de 1060 lux (Barkmann, Wessolowski y Schulte-Markwort, 2010). Baron, Rea y Daniels (1992) encontraron que con 150 lux se obtienen mejores desempeños laborales que con 1500 lux sobre el plano de trabajo.

Entre los estudios que tocan la relación entre la iluminación natural y los resultados académicos se destaca el de Heschong Mahone Group (1999). En un análisis de más de 2000 aulas en Estados Unidos se identificó que los salones mejor iluminados naturalmente promovían, durante un año, el avance de los estudiantes un 20 % más rápido en las pruebas de matemáticas y 26 % más rápido en las de lectura. Lo avances también se evidenciaron entre los estudiantes con acceso a ventanas de mayor tamaño frente a los estudiantes con unas de menor tamaño (Heschong Mahone Group, 1999a). Con base en este, la California Energy Commission (2003b, 2003c) encontró que en las salas más iluminadas se observa al menos un 21 % de mejora en el ritmo de aprendizaje frente a las peor iluminadas. Resaltó la importancia de garantizar visuales al exterior siempre que se controle la probabilidad de deslumbramiento. A pesar de esto, algunos autores no han encontrado relaciones significativas entre el desempeño académico y la iluminación; lo explican a partir de la capacidad de adaptación de los estudiantes, de las condiciones, aunque diversas, relativamente aceptables en los niveles lumínicos, o de las circunstancias socioeconómicas (Murillo y Martínez-Garrido, 2012; Trebilcock Kelly, Soto Muñoz, Figueroa San Martín y Piderit- Moreno, 2016).

Entre los beneficios más relevantes para esta investigación se encuentra el aumento o la mejora en el rendimiento académico de los estudiantes. En estudios del Heschong Mahone Group (1999) se comprobó que los alumnos que se encontraban en espacios con adecuada iluminación natural tuvieron un rendimiento entre el 13 % y el 26 % mayor en las pruebas estandarizadas en California. Otros dos estudios en las ciudades de Seattle y Fort Collins en Colorado mostraron resultados similares: confirmaron una tendencia de un 7 % a un 18 % de puntuaciones más altas en pruebas estandarizadas en comparación con las aulas sin iluminación natural.

Diversos autores han identificado efectos nocivos por la ausencia de luz natural, como trastornos de la salud mental y física, depresión, cansancio, alteración del ciclo circadiano, baja autoestima, deficiencia vitamínica y disminución de la creatividad. Una escuela con poco ingreso de luz natural también puede reducir la capacidad del estudiante para aprender, concentrarse y desenvolverse, debido

a que la iluminación natural tiene un efecto sobre la fisiología de los individuos. La luz espectral pobre puede crear tensión en los ojos, lo que lleva a una disminución en el procesamiento de la información y la capacidad de aprendizaje, que hace que los niveles de estrés sean más elevados (Bucaneg, 1999).

Comodidad auditiva

El principal parámetro acústico para evaluar un aula en función del proceso de enseñanza-aprendizaje es la inteligibilidad del habla. Se han utilizado tres medidas modernas para determinar la influencia de la acústica interior y el ruido de fondo en la inteligibilidad: 1) la proporción del sonido útil —sonido directo y reflexiones tempranas— al nocivo —ruido y reflexiones tardías—, 2) el porcentaje de pérdida de consonantes (ALCons) y 3) el índice de transmisión del habla (STI, por sus siglas en inglés).

A pesar de que estas variables son conceptualmente diferentes, se ha encontrado una fuerte relación entre estas. Bradley (1998) halló vínculos entre la evaluación de la inteligibilidad con el *Fairbanks Rhyme Test* y algunos parámetros acústicos derivados de la respuesta al impulso en un aula: el tiempo de reverberación, el STI y la relación entre el sonido útil y el nocivo, también conocida como señal-ruido. Los dos últimos parámetros fueron los más relevantes para predecir la inteligibilidad del habla y tenían en esencia la misma precisión. Por otra parte, con variables como el ruido de fondo y el tiempo de reverberación fue posible estimar la inteligibilidad con una precisión ligeramente inferior (Bradley, 1986).

Existen otros estudios sobre la relación entre el STI y los resultados de las pruebas de inteligibilidad subjetiva que han confirmado que la calidad del sonido está vinculada con el nivel de ruido de fondo y la relación señal-ruido (Hodgson, 2002; European Committee for Electrotechnical Standardization, 2011). Por otra parte, no hay muchos investigadores que analicen la correlación entre el STI y las pruebas subjetivas en la lengua española.

Según el trabajo de Sommerhoff y Rosas (2007), hay dos listas de palabras en español que ayudan a evaluar de modo subjetivo la inteligibilidad, llamada así por Miñana (1969) y Fuchs (Fuchs y Osuna, 1965). Sommerhoff las utilizó para analizarla con estudiantes universitarios y con la segunda lista encontró resultados similares en comparación con las pruebas estandarizadas en inglés; sin embargo, hubo resultados muy diferentes con la primera. Su contribución se basa en el desarrollo de una lista de logátomos consonante-vocal-consonante (CVC) fonéticamente equilibrada en función del grado de dificultad para

evaluar la inteligibilidad en castellano (Rosas y Sommerhoff, 2008). Luego, los autores corroboraron la relación entre las STI y las pruebas subjetivas mediante la aplicación de una lista de palabras con combinación de logátomos CVC del español latinoamericano.

La prueba se hizo entre estudiantes universitarios en dos condiciones: un aula con ruido de fondo rosa y una cámara reverberante. La correlación entre los resultados de las pruebas del STI y de las subjetivas fue diferente en cada entorno. Para el mismo valor del STI se obtuvieron porcentajes disímiles de inteligibilidad (Sommerhoff y Rosas, 2011). La tabla 3.2 ilustra la clasificación de la inteligibilidad, según la norma ISO 9921 (2003) para los ensayos CVC y los correspondientes intervalos STI estimados a partir de las ecuaciones de correlación publicadas por Sommerhoff y Rosas (2011).

Tabla 3.2.

Rangos de clasificación de la inteligibilidad para las pruebas CVC

	Excelente	Bueno	Razonable	Pobre
CVC	>81 %	81 % a 70 %	70 % a 53 %	53 % a 31 %
STI (ISO)	>0,75	0,75 a 0,6	0,6 a 0,45	0,45 a 0,3
STI (ruido)	>0,53	0,53 a 0,43	0,43 a 0,31	0,31 a 0,2
STI (reverberación)	>0,52	0,52 a 0,37	0,37 a 0,2	0,2 a 0,003

Fuente: International Organization for Standardization (2003).

La inteligibilidad medida por palabras en pruebas subjetivas puede ser inadecuada para evaluar la transmisión del habla en ciertas condiciones. Se ha encontrado que la evaluación de la inteligibilidad por palabras varía solo entre el 90 % y el 100 % en una relación de señal a ruido de 4,5 a 14,5 dBA, dentro de una población adulta entre los veintidós y 58 años. Por lo tanto, esta evidencia sugiere condiciones aceptables para la comunicación del habla sobre un rango significativo del vínculo señal a ruido. Sin embargo, a veces, la excelente inteligibilidad solo es posible con un esfuerzo adicional considerable por parte del oyente. Por esta razón, se ha propuesto una nueva medida llamada “dificultad de escucha”, que se define como el porcentaje de respuestas que indican algún nivel de dificultad.

En la relación señal-ruido esta cantidad difiere del 95 % al 5 %, lo cual indica que para evaluar la comunicación verbal se deben tener en cuenta tanto la inteligibilidad como la dificultad de escuchar (Sato, Bradley y Morimoto, 2005); además, se ha comprobado que esta última, evaluada en campos acústicos ruidosos y reverberantes, está altamente correlacionada con el STI, con

independencia de la edad del oyente adulto. Estos resultados se obtuvieron con un ruido de fondo constante (Sato, Morimoto y Wada, 2012).

La buena inteligibilidad del habla y la baja dificultad de escucha con respecto al nivel adecuado de la voz, independientemente del nivel del ruido de fondo, dependen del tiempo de reverberación. A niveles de 60 dBA para la voz humana es aceptable un rango amplio en el tiempo de reverberación, entre cero y dos segundos, para oyentes jóvenes (Sato, Morimoto y Ota, 2007). Sato también describe los niveles de voz aceptables en función del ruido de fondo con un espectro constante. En su estudio, se señala que la inteligibilidad se maximizó con una relación señal a ruido de 10 dB, condición que no minimiza la dificultad de escucha.

Para adultos y jóvenes, el nivel que proporcionó esas condiciones de inteligibilidad fue de 60 dB, con niveles de ruido de fondo entre 40 dB y 45 dB. En la población con una edad más avanzada, el nivel de la voz sugerida se centró en 65 dB, con niveles iguales o inferiores a 55 dB. El estudio concluyó que para los niveles de ruido de fondo entre 40 dB y 45 dB el nivel de voz más bajo requerido es de 65 dBA (Sato, Morimoto y Ota, 2011).

En cuanto a las aulas se han propuesto distintos valores óptimos para el tiempo de reverberación. A partir de un análisis teórico, Bistafa y Bradley (2000) recomendaron para recintos con volúmenes entre 100 y 500 metros cúbicos un tiempo de reverberación entre 0,4 y 0,5 segundos, centrados en la banda de frecuencia de octava de 1 kHz y la media de las bandas de octava de 500 Hz a 4000 Hz. Esto es consistente con las recomendaciones para las salas de clase vacías con un tiempo de reverberación entre 0,6 y 0,7 segundos y menos de 0,8 segundos (aulas con menos de cincuenta personas) de las normas ANSI/ASA S12.60 (Acoustical Society of America 2010) y del Department of Education and Skills (2003), respectivamente.

Otro tema relevante de estudio, pero en aulas universitarias, es la relación entre la percepción subjetiva de la acústica de la sala y los parámetros acústicos objetivos utilizados para evaluarla. El análisis consistió en un cuestionario diseñado para encontrar una medida global para la percepción subjetiva del estudiante sobre el entorno acústico, que se denominó facilidad de escucha percibida (PLE, por sus siglas en inglés). Se halló un vínculo entre esta medida y factores ambientales, como la iluminación y la temperatura, lo que sugirió la dificultad de los estudiantes para separar su percepción acústica del medio ambiente.

Sin embargo, se encontró una relación significativa entre la PLE y parámetros acústicos como el STI (Kennedy, Hodgson, Edgett, Lamb y Rempel, 2006).

Comodidad auditiva en los colegios

La Organización Mundial de la Salud (1999) ha señalado que el ruido en las escuelas y los colegios interfiere principalmente en la comunicación oral. Asimismo, ha identificado que el ruido dificulta el análisis de la información y afecta la comprensión lectora y la adquisición de la lectura. El control del ruido y el acondicionamiento acústico permiten garantizar parámetros, como los niveles de ruido y el tiempo reverberación, ajustados al aprendizaje. Con este fin, se han publicado estándares con requerimientos mínimos acústicos en edificios escolares como parte del cumplimiento de reglamentos de contricción.

El *Building Bulletin* 93 (BB93), publicado por el Department of Education and Skills (2003), en compañía del Comité de Escuelas de la Asociación de Consultores de Ruido y el Instituto de Acústica del Reino Unido, es una guía de apoyo y de consideraciones para el diseño acústico en las escuelas. Establece los estándares para el confort o el rendimiento acústico, los medios adecuados para el cumplimiento de estos y las necesidades ambientales de cada escuela, como el confort térmico, la calidad del aire, el acceso y la visualización en interiores.

Debido al uso específico de las aulas en conjunto con el edificio escolar, se debe contemplar el diseño y la construcción enfocados a las condiciones acústicas y el aislamiento del ruido. De manera específica y afín a la opinión internacional, se tiene que trabajar por cumplir con los valores mínimos de aislamiento acústico, tiempo de reverberación y ruido ambiental al interior. Estos requisitos permitirán planificar los espacios de enseñanza y aprendizaje desde la inteligibilidad del habla, evaluada a través del STI.

En el confort auditivo se define a partir de dos indicadores: 1) el tiempo de reverberación en función del acondicionamiento acústico del recinto, para el cual se deben tener en cuenta las variables de volumen, áreas y absorción; y 2) el ruido de fondo en función del aislamiento que proveen los tabiques, incluidos el techo, las paredes y el piso. El aislamiento se da con la pérdida por transmisión de los materiales, que depende de las variables de masa, en primera medida, rigidez y amortiguamiento. Para ambos indicadores acústicos es importante tener presente que se comportan en función de la frecuencia.

De acuerdo con el BB93, las normas de construcción requieren que se cumplan estándares de confort asociados con los indicadores descritos, los cuales

tienen valores permisibles que aseguran una buena inteligibilidad del habla. Estos valores se usan para recintos terminados, amoblados, pero desocupados. En recintos sin muebles los criterios se aplican normalmente, considerando que el mobiliario no tiene un efecto significativo en los niveles del ruido ambiental en el interior ni en el aislamiento acústico. La ausencia de mobiliario representa un aumento en el tiempo de reverberación en función de la frecuencia, según los materiales y sus características de absorción (Department of Education and Skills, 2003). Los estándares son:

- Ruido de fondo o ambiental en interiores: se define como los sonidos que trascienden al aula. En este caso, las fuentes de ruido son producto de las actividades humanas (tráfico rodado, ferrocarriles, tráfico aéreo, locales industriales y comerciales). Los niveles recomendados en las aulas de primaria y secundaria son 35 dBA (nuevas construcciones) y 40 dBA (construcciones reformadas).
- Aislamiento acústico: tiene como objetivo atenuar el sonido transmitido por el aire entre los espacios. Existen elementos que permiten la transmisión sonora por el ruido aéreo, como los muros colindantes, las puertas y los flancos. De acuerdo con la BB93, el índice de reducción sonora (R_w) de las paredes de las aulas emisoras donde hay actividades de generación de altos niveles de ruido de fondo deberá ser mayor de 40 dB para las construcciones reformadas y 45 dB para las nuevas. El conjunto compuesto por las puertas se evalúa con un criterio definido con un índice de reducción mayor de 30 dB.
- Aislamiento del ruido de impacto de los pisos: el objetivo es controlar el sonido de impacto generado por los pasos y el movimiento de los muebles dentro de las aulas, que se transmite a pisos inferiores. El valor descrito para el nivel de presión sonora de impacto estandarizado para las escuelas es mayor a 60 dB para construcciones nuevas y 65 dB para reformadas.
- Tiempo de reverberación (RT, por sus siglas en inglés): se define como el tiempo que transcurre entre la interrupción de una fuente de ruido y el decaimiento de 60 dB del nivel de presión sonora. En las escuelas, el objetivo es propiciar un RT que permita la comunicación clara oral del profesor con el alumno y entre estudiantes. El criterio para el cumplimiento del RT adecuado se define en función del tiempo de reverberación media (RT_{mid}), el cual es la media aritmética de los tiempos de reverberación en las bandas octava 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz. De acuerdo con el estándar para las escuelas de primaria, el RT_{mid} deberá ser menor a 0,8 segundos en las aulas nuevas y 1,0 segundos en las reformadas.

Capítulo 4

Aprendizaje y comodidad

El aprendizaje en los seres humanos es progresivo e implica la apropiación de conocimientos que pueden transformar la forma de pensar y de actuar. En este sentido, involucra 1) resultados, es decir, lo que se aprende, 2) procesos, referidos a los mecanismos cognitivos mediante los cuales se producen esos cambios y 3) condiciones, entendidas como el tipo de práctica que tiene lugar para poner en marcha los procesos de aprendizaje, que implican el cómo, cuándo y dónde, entre otros (Pozo, 2008).

Las condiciones están influidas por diversos factores ambientales, como el estado físico del aula, los recursos disponibles y el clima psicológico, que involucra la actitud de los actores, la relación docente-alumno y el modelo pedagógico. La interrelación entre estos aspectos promueve estímulos, experiencias e influencias que intervienen en el desarrollo integral de los estudiantes (Fernández, 2009). Las aulas escolares son espacios de enseñanza-aprendizaje que constituyen una de las herramientas más importantes de la labor educativa. Esto es fundamental si se tiene en cuenta que cuando el ambiente del aula es bueno, los logros académicos de los estudiantes mejoran (Higgins, Hall, Wall y McCaughey, 2005; Murillo, Martínez-Garrido y Hernández Castilla, 2011, Oré, 2012; Sammons, 2007).

En Colombia, el número de estudiantes por aula es mayor en las escuelas públicas que en las privadas porque la cantidad de instituciones es baja. Esta situación afecta el proceso de enseñanza-aprendizaje, puesto que reduce la eficiencia de las condiciones del aula y las estrategias que el docente puede implementar, de acuerdo con el modelo pedagógico elegido.

A lo largo de la historia, el desarrollo del espacio escolar ha sido un motivo de estudio permanente en Colombia. Desde principios de siglo XX hasta la actualidad, las entidades estatales encargadas de manejar las políticas públicas relacionadas con el diseño de los colegios y las escuelas públicas han tenido en cuenta la relación entre el modelo pedagógico implementado y el modelo espacial reconocido. Esto quiere decir que las políticas han estado vinculadas de modo directo con el modelo pedagógico, lo cual ha dado como resultado un espacio escolar diferenciado (Coronado, 2014).

Los arquitectos tienen la tarea de plantear espacios confortables donde se puedan desarrollar a cabalidad y de manera satisfactoria todas las actividades para las cuales están diseñados los edificios. Cuando se habla de los colegios, las condiciones exigen un compromiso mayor con el diseño. Con la evolución de las técnicas, los espacios escolares han llegado a un punto idóneo de desarrollo, pero, en el camino, se ha descuidado un discurso específico: el hábitat escolar.

Vale la pena estudiar el proceso en las ciudades de Bogotá, D. C., Cali y Medellín, donde, a lo largo del proceso histórico, se ha concebido el escenario escolar como un hábitat desde el concepto del edificio público, motivo de esta investigación. Lograr la concepción del hábitat escolar parte de la idea de generar un espacio donde se establezcan las experiencias de aprendizaje y las costumbres de quienes se identifican como usuarios de este escenario. Así, este hábitat se entiende como el gran concepto que alberga el espacio escolar. A su vez, este se encarga de consolidarse en el producto material (edificio) e inmaterial (vínculos que se constituyen entre estos y su correlación con el entorno) (Coronado, 2014).

Desde un abordaje evolutivo, se pueden identificar dos modelos de hábitat escolar: cerrado y abierto. Estas dos posturas influyen de manera directa en el aprendizaje y en el carácter del espacio habitado, usado y conformado. Para los alcances del presente trabajo investigativo se han dirigido las variables científicas hacia el cerrado, entendido como el aula básica donde se dan los procesos de enseñanza-aprendizaje en los niveles intermedios de formación básica.

Durante los últimos cincuenta años, las entidades públicas encargadas de la educación en el país, en concreto, el Ministerio de Educación Nacional, a través de las secretarías particulares de educación por región, repensaron las características de los espacios escolares y se decidió ampliar las relaciones de metros cuadrados por estudiante frente a las construcciones escolares. Esta estandarización concluyó en la creación de programas arquitectónicos base con respecto al número de estudiantes por plantel, así, se estandarizaron los colegios de novecientos hasta 1100 estudiantes. El área promedio por alumno pasó de 1,50 a 2,75 metros cuadrados. Con proyectos concebidos en función de una mayor generación de espacio se construyeron lugares diferentes para el aprendizaje.

Una buena arquitectura escolar o de cualquier otra índole implica pensar estrechas relaciones entre la técnica, la tecnología y la sociedad. En los espacios escolares, la educación es otro actor que interviene de manera circunstancial en el afán por producir lugares adecuados para el aprendizaje y la interacción

del edificio con la comunidad, inmersos en un tejido de retroalimentación como el sistema del hábitat escolar, en este caso, cerrado.

Como núcleo generador de conocimiento, procesos de enseñanza-aprendizaje y relaciones socioespaciales que mejoran la calidad de vida, el edificio escolar se debe planear en torno a las nuevas pautas de la pedagogía, las políticas públicas y las normas técnicas de diseño escolar. Tener consciencia de esto involucra las mayores exigencias en calidad y un alto compromiso con la inversión, la cual, al cabo de un tiempo, se reflejará en el beneficio que estos espacios representan para la comunidad y las personas más necesitadas.

La arquitectura, la ingeniería, la técnica, la tecnología y la educación tienen un punto de encuentro importante en las edificaciones. Se puede decir que el edificio escolar es el hogar del matrimonio enseñanza-aprendizaje. La preocupación del maestro sobre la mejor forma de enseñar para lograr que sus estudiantes aprendan y la de estos por recibir el conocimiento van de la mano con un buen edificio escolar con condiciones técnicas, tecnológicas y de confort implementadas en una buena arquitectura e ingeniería.

El confort en el aula es uno de los condicionantes claros para la labor del maestro como enseñante y del estudiante como receptor e individuo que aprende dentro de su proceso de formación. El confort espacial considera las variables necesarias que se deben manejar en las políticas públicas que regulen estas condiciones y establezcan los rasgos primordiales de la salud y el bienestar de los profesores y estudiantes. En consecuencia, la iluminación, el ruido, la ventilación, la espacialidad, los estándares de diseño, etc., son fundamentales.

Los niños difieren de los adultos por sus tasas metabólicas, tipos de ropa, niveles de actividad y preferencias en el arreglo espacial; también son más sensibles a los factores ambientales. Ellos pueden modificar las condiciones de su entorno; sin embargo, por lo general, aceptan las características del aula de forma “pasiva” o reaccionan con inquietud motora ante las incomodidades, lo cual afecta las actividades y su rendimiento (De Giuli, Pontarollo, De Carli y Di Bella, 2013).

Se han realizado estudios desde diferentes perspectivas conceptuales y metodológicas que involucran diversas disciplinas en el análisis y la tecnología avanzada. Los resultados han sido inconsistentes. Algunos investigadores han encontrado que el rendimiento académico no se relaciona con las condiciones ambientales; plantean que influyen más razones metodológicas —con las que se da un vínculo directo con la acción docente—, que dependen de la rutina

diaria en el aula y que no están determinadas por las características del edificio, sino por el cuidado o desidia que el docente ponga en su trabajo (Murillo y Martínez-Garrido, 2012). Sin embargo, hay coincidencia en que el deterioro de las escuelas afecta la moral de los estudiantes y en que su buen estado estimula actitudes positivas de seguridad y orgullo (Cash y Twiford, 2010; Cheng, English y Filardo, 2011; Rudd, Reed y Smith, 2008).

Sobre el rendimiento académico, se ha observado que las condiciones del diseño de las escuelas predicen el desempeño de los estudiantes tanto en la asistencia como en el logro académico (Bakó-Biró, Clements-Croome, Kochhar, Awbi y Williams, 2012; Durán-Narucki, 2008). El ruido interfiere con el rendimiento en la lectura, la escritura, el inglés, las matemáticas y la ciencia (Shield y Dockrell, 2003). Además, condiciones estructurales, como la temperatura adecuada y el mantenimiento de las aulas, se han asociado con mejores calificaciones (Evans, 2006; Mejía, 2010).

El clima también impacta en el confort en el aula y en el desempeño de los estudiantes, quienes tienen un menor nivel cuando están expuestos a temperaturas elevadas de manera constante (Johansson, 1975). En esta línea, los índices de confort térmico de Fanger (1970) y sus porcentajes, predichos en personas insatisfechas, mostraron un efecto significativo en los estudios de Corgnati, Filippi y Viazzo (2007). En otros trabajos se plantea que niveles mayores de incomodidad térmica se relacionan con niveles menores de rendimiento académico, aunque es probable que cada individuo experimente una amplia gama de respuestas de confort térmico ante los mismos estímulos ambientales en diferentes momentos y contextos emocionales o sociales (Hoque y Solomon, 2016).

Algunos investigadores no han encontrado un nexo entre el rendimiento académico y las condiciones ambientales estables como la iluminación o la ventilación (Murillo y Martínez-Garrido, 2012), aunque es común que los docentes y estudiantes tiendan a cerrar las ventanas de las aulas por el ruido de inmisión, lo cual genera mala calidad del aire y sobrecalentamiento, que podrían tener un impacto negativo en los logros académicos, como indican Montazami, Wilson y Nicol (2012).

Entre los factores de confort en el aula, el ruido y la temperatura han mostrado tener un impacto negativo mayor en comparación con las características lumínicas. Esto evidencia que las aulas deficientes también pueden afectar el aprendizaje y el rendimiento de estudiantes, lo cual podría abordarse con profundidad en la explicación de los efectos que tienen múltiples aspectos del entorno en estos

(Marchand, Nardi, Reynolds y Pamoukov, 2014). Además, se deben considerar elementos como el significado que ellos le dan al ambiente físico, en el sentido de cómo el deterioro los desmotiva, e interpretaciones frente al valor que la sociedad les da como estudiantes, lo cual los afecta emocionalmente porque se sienten ignorados (Durán-Narucki, 2008; Maxwell y Chmielewski, 2008).

Otro aspecto para tener en cuenta es la implicación que puede tener el ambiente del aula en la exacerbación de los síntomas de estudiantes con problemas específicos como, por ejemplo, el déficit de atención con hiperactividad (Stansfeld, Clark, Cameron, Alfred, Head, Haines, Van Kamp *et al.*, 2009). Las implicaciones del ambiente físico en interacción con las diferencias individuales de los estudiantes son relevantes para su aprendizaje y su desarrollo óptimo. Por consiguiente, un espacio funcional tiene que involucrar en su diseño las características psicológicas de los estudiantes y los profesores, así como el modelo pedagógico institucional; en otras palabras, debe considerar los procesos y condiciones orientados a los resultados de aprendizaje.

El rendimiento cognitivo y los factores ambientales

Los procesos cognitivos como la atención, el pensamiento y la memoria son básicos para el aprendizaje (Rinaudo, Chiecher y Donolo, 2003) y para la adaptación a los cambios constantes que genera el ambiente, en especial, en contextos educativos (Chun y Turk-Browne, 2007; Lezak, 1995). Varios los factores ambientales se han relacionado con la afectación de los procesos cognitivos. El ruido es uno de los más estudiados desde la década de los sesenta y esto ha permitido enfocarse en análisis cada vez más específicos para explicar la variación del rendimiento en la atención, la memoria y la resolución de problemas provocada por variables como el tiempo, el tipo de tarea, el proceso cognitivo involucrado y el tipo de ruido.

Los procesos cognitivos más afectados son la atención y la memoria. Son más consistentes los resultados de los efectos en los procesos atencionales que en los de memoria (Martimortugués, 2002; Murphy y King, 2014). Por lo general, en las comunidades y escuelas ruidosas los niños tienen un desempeño pobre en la memoria a largo plazo (Hygge, 1993; Papanikolaou, Skenteris y Piperakis, 2014), la atención y la lectura (López Barrio, Carles y Herranz 1990).

Además de afectar la concentración, el ruido interfiere con el rendimiento mental, la capacidad de trabajo y la capacidad para resolver problemas (Pawlaczyk-Łuszczynska, Dudarewicz, Waszkowska, Szymczak y Śliwińska-Kowalska, 2015; Murphy y King, 2014). Si bien se considera que el ruido continuo no afecta las

funciones básicas frente a las tareas simples (Martimortugués, 2002), ante las complejas se evidencia un menor rendimiento cognitivo (Smith, 1990; Smith y Jones, 1992). Cuando el ruido es crónico, se puede percibir como molesto e irritante, lo cual reduce la concentración (Lercher, 1996). A pesar de utilizar estrategias cognitivas para mitigar su efecto, estas no son efectivas para disminuir las consecuencias en la lectura y el procesamiento del habla (Dockrell y Shield, 2011; Evans, Hygge y Bullinger, 1995).

Si hay un ruido de fondo y poca inteligibilidad de la palabra, suelen presentarse dificultades en la atención y en la memoria tanto de los estudiantes como de los profesores (Haghighi, Chiao y Mohd, 2012; Quintero, 2015), en especial, en la de corto plazo (De la Torre y López, 2000; Liebl, Haller, Jödicke, Baumgartner, Schlittmeier y Hellbrück, 2012; Haghighi, Chiao y Mohd, 2012; Jahncke, Hygge, Halin, Green y Dimberg, 2011; Ljung, 2003; Quintero, 2015). También se ve afectada la capacidad de razonamiento (Liebl, Haller, Jödicke, Baumgartner, Schlittmeier y Hellbrück, 2012; Castellanos y Puentes, 2011; González, 2006) y aumenta la distracción (Haapakangas, Hongisto, Hyönä, Kokko y Keränen, 2014). Además de influir en los procesos cognitivos, el ruido de fondo de baja frecuencia tiene efectos a fisiológicos (Trimmel, 2012).

Aunque los estudios expresan interferencia en el rendimiento de la memoria, se deben considerar variables diferentes al tipo de ruido, de acuerdo con Smith (1983). Martimortugués (2002) plantea que tienen que tomarse en cuenta los efectos del ruido sobre la concentración, las variaciones por la extensión o complejidad de la tarea y las variaciones por las características de la personalidad de los individuos, como la extroversión o introversión. La experiencia previa al ruido y el tiempo de ejecución —o estos dos factores juntos— también podrían alterar el desempeño de la memoria (Smith, 1983).

Frente al ruido intermitente, las variaciones de los efectos en la atención también han sido analizadas, según las características de las tareas. Se ha encontrado que este ruido provoca breves periodos de ineficacia en la vigilancia, con pocos efectos cuando se evalúa la eficacia general (Martimortugués, 2002). Los participantes cometen más errores cuando el ruido es intermitente que cuando es alto y continuo (Jones, Smith y Broadbent, 1979). La ineficacia momentánea generada por el ruido intermitente es mayor si este supera los 95 dB y si hay más tiempo de exposición al ruido (Smith y Miles, 1986).

Con respecto al ruido continuo, los efectos en la atención varían cuando existen diferentes versiones de la tarea —al cambiar los parámetros de esta, cambia el

método para llevarla a cabo (Smith, 1990)— y cuando se alarga el tiempo de ejecución (Heft, 1979). Los tiempos de reverberación largos producen efectos significativos en la atención y la memoria (Murphy y King, 2014; Quintero, 2015).

Los factores térmicos y de iluminación han sido muy estudiados en las últimas dos décadas. Hasta ahora, está claro que quienes estudian en aulas con sistemas de ventilación y calefacción inadecuados tienen menor rendimiento escolar que quienes están en aulas con ventilación natural (Kalamees, Väli, Kallavus, Kurik y Alev, 2015). Se ha especificado un efecto significativo en el rendimiento en cuanto a los niveles de atención, comprensión y aprendizaje (Corgnati, Filippi y Viazzo, 2007; Mazón 2014). Además, las bajas tasas de ventilación en las aulas pueden reducir la atención y la vigilancia de los alumnos, y afectar la memoria, la concentración y, por ende, la enseñanza y el aprendizaje (Bakó-Biró, Clements-Croome, Kochhar, Awbi y Williams, 2012).

De manera específica, se ha visto que un acondicionamiento con una temperatura de color correlacionada (TCC) de 4000°K podría favorecer la capacidad cognitiva para seleccionar y mantener la atención en tareas de detección de detalles (monocromáticos) en escolares, lo que implicaría que ellos utilizan los mínimos recursos de tiempo disponibles y, así, mejoran su rendimiento atencional (Monteoliva, Korzeniowski, Ison, Santillán y Pattini, 2016). Wargocki, Wyon, Matysiak e Irgens (2005) evidenciaron que la reducción de la temperatura aumenta la velocidad de respuesta en un 28 %, disminuye los errores de atención en un 10 % e incrementa el ritmo de lectura en un 24 %. En este sentido, el rendimiento cognitivo es mayor en presencia de confort térmico, aunque los resultados no son del todo concluyentes.

El confort térmico puede afectar de modo significativo el rendimiento (Corgnati, Filippi y Viazzo, 2007); no obstante, los efectos de las condiciones del tiempo y de la humedad varían según la edad. Corgnati, Filippi y Viazzo (2007) mostraron que las condiciones de temperatura y humedad relativa catalogadas como de mayor molestia disminuyeron el índice de atención en un 45 % en un grupo de estudiantes de doce a catorce años, comparado con los resultados en condiciones confortables. Sin embargo, la atención de los adolescentes de diecisiete y dieciocho años tiene poca variación frente al malestar al comparar los resultados con los de las condiciones confortables. También se han visto variaciones respecto al sexo: las niñas muestran un índice de atención ligeramente más alto que los varones en condiciones de no confort térmico (Mazón, 2014).

Capítulo 5

Salud y comodidad

La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, por tanto, no solo se entiende como la ausencia de afecciones o enfermedades. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) define la salud mental como un estado de bienestar en el cual el individuo es consciente de sus capacidades, afronta las tensiones normales de la vida, trabaja de forma fructífera y contribuye a su comunidad. Está compuesta por múltiples factores sociales, psicológicos y biológicos, y se fundamenta en el bienestar individual y en el funcionamiento eficaz de la comunidad, como componente esencial e integral de la salud general.

La calidad de los recintos educativos es trascendental en la psicología, dado que se relaciona con la salud física y mental de quienes permanecen en estos espacios. Diversos estudios abordan el bienestar del docente, el desempeño ambiental y el confort; sin embargo, los resultados suelen ser fragmentados y producir soluciones parciales, que podrían tener mayor impacto con un abordaje integral.

En su acepción económica, el trabajo es una actividad que implica esfuerzo físico y mental, a través de la cual el ser humano produce o consigue bienes o servicios para su subsistencia (Sanchis, 2011). Si bien el concepto empezó a tomar relevancia con las revoluciones francesa e Industrial (Sanchis, 2011), este ha ido cambiando y continuará transformándose a lo largo del tiempo, dado que responde a lo que acontece en un contexto histórico-social determinado (Da Rosa, Chalfin, Baasch y Soares, 2011; Borges y Yamamoto, 2004; Blanch Ribas, 2003) y puede ser fuente de placer o de sufrimiento (Cimbalista, 2007).

Según Da Rosa, Chalfin, Baasch y Soares (2011), el trabajo se relaciona con la capacidad que tiene el ser humano de transformar la naturaleza y con el alcance de objetivos. De acuerdo con Marx (1968), las transformaciones se dan para atender las necesidades humanas. Hay una relación dialéctica entre el ser y la naturaleza, puesto que los cambios de uno repercuten en el otro e implican un vínculo con los demás, lo que se comprende como un esfuerzo colectivo.

El trabajo, comparado con la cesantía o el desempleo, aporta a la salud física y mental (Waddell y Burton, 2006). El empleo es el principal medio para obtener los recursos económicos que posibilitan el bienestar material y la participación plena en la sociedad; además, es parte central de la identidad del individuo

(OMS, 2018). Antecedentes investigativos sobre el tema señalan la importancia que tiene el trabajo al hablar de la salud. Se han encontrado mejorías significativas en personas con enfermedades o con discapacidad después de incluirlas en un trabajo remunerado. Además, hay estudios en los que se considera el desempleo como un factor de riesgo para la salud mental (Parejo, Sánchez, Vásquez y Valero, 2015; Urbanos-Garrido y González, 2013), porque aumenta la presencia de trastornos —como los de ansiedad y los somatomorfos (somatización, hipocondría, entre otros)—, el abuso del alcohol y el riesgo de padecer depresión (Gill, Roca y García-Campayo, 2014).

Otras investigaciones han aportado evidencias importantes sobre las funciones del trabajo en el ser humano para la promoción de la salud mental. Se ha encontrado que, además de posibilitar la satisfacción de las necesidades básicas, proporciona sentimientos de dignidad y autonomía, contribuye a la autoestima y favorece la integración social, dado que las personas se sitúan en un contexto de relaciones interpersonales que genera mayor sentido de pertenencia y participación en su entorno laboral. Asimismo, se ha evidenciado que potencia el desarrollo de capacidades y posibilita la apropiación de saberes y competencias tanto profesionales como sociales (Gómez Etxebarria, 2012; Rodríguez, Zarco y González, 2009; Benavides, Ruiz-Frutos y García, 2004).

Lo anterior aplica para el trabajo que se realiza en buenas condiciones. Cuando se da en circunstancias desfavorables, este impacta de manera negativa en la salud física y mental, lo cual origina enfermedades, patologías relacionadas con el estrés, ansiedad, depresión, trastornos psicosociales, lesiones musculoesqueléticas e, incluso, incrementa los accidentes laborales (Agulló, 2015; Díaz, 2015).

Afecciones mentales y físicas

Diversos trabajos señalan el impacto negativo que tienen algunas variables asociadas con el desempeño ambiental en los docentes y estudiantes que permanecen en las aulas. En el caso de los primeros, se han identificado numerosas afecciones que influyen en su salud y calidad de vida, como condiciones inadecuadas de trabajo, elevados niveles de fatiga y estrés. Los resultados arrojan que el desgaste de la salud mental es una de las principales alteraciones que afectan a los docentes en su ejercicio profesional. Asimismo, indican que el desgaste no se da por el ejercicio docente en sí mismo, sino como consecuencia de otras condiciones, como sobrecarga laboral, espacios físicos inadecuados para la enseñanza, exposición a grupos numerosos, escasez de recursos pedagógicos y tecnológicos

e implementación de metodologías de enseñanza catedráticas, lo que lleva a que la tiza y la voz sean las únicas herramientas de trabajo (Connolly, Dockrell, Shield, Conetta y Cox, 2013; García y Muñoz, 2013; OREALC-Unesco, 2005; Párraga y García, 2005; Rodríguez y Matus, 2002).

La lista de posibles secuelas de la contaminación acústica es larga y contempla afecciones como interferencias en la comunicación, perturbación del sueño, estrés, irritabilidad, disminución del rendimiento y de la concentración, agresividad, cansancio, dolores de cabeza, problemas mentales, estados depresivos, entre otros (Lazarus y Folkman, 1984). En sus trabajos, Connolly, Dockrell, Shield, Conetta y Cox (2013), Párraga y García (2005) y Rodríguez y Matus (2002) hallaron efectos negativos en la calidad de vida y la salud de los estudiantes y docentes que han estado expuestos a las aulas inadecuadas, quienes presentan elevados niveles de fatiga y estrés. La Federación Española de Trabajadores de la Enseñanza (2012) advierte que las condiciones ambientales de alta exposición al ruido o reverberación implican un sobreesfuerzo de la voz y amenazan el buen desempeño de los docentes, debido a la gran cantidad de ausencias e incapacidades laborales por disfonía y afonía. De este modo, los factores ambientales deterioran la relación docente-estudiante.

Asimismo, se ha registrado el impacto de las condiciones ambientales específicas del aula, debido a factores acústicos como el ruido de fondo y el tiempo de reverberación, en los procesos de enseñanza-aprendizaje, con secuelas de carácter fisiológico, cognitivo y emocional que se manifiestan a corto y largo plazo con efectos acumulativos en la población (Folkman, Lazarus, Dunkel-Schetter, DeLongis y Gruen, 1986; Lazarus y Folkman, 1984). Sumado a esto, aparece aumento significativo de las enfermedades físicas y mentales asociadas al rol docente (Tenti, 2006; Montgomery y Rupp, 2005; OREALC-Unesco, 2005; Kyriacou, 2001), que se relaciona con el síndrome del desgaste profesional (*burnout*) en sus tres dimensiones: agotamiento emocional, despersonalización y baja realización personal (Maslach, 2003). Se reportan como principales riesgos laborales las enfermedades infecciosas (vía respiratoria) por contaminantes biológicos, las afecciones por sobreesfuerzo de la voz, las alteraciones del aparato locomotor por microtraumas de repetición, los trastornos musculoesqueléticos y lumbares, las posturas erróneas, las caídas y los trastornos psicosociales (Fernández-Puig, Longás, Chamarro y Virgili, 2015; Sánchez y Martínez, 2014; Erick y Smith, 2011; Bermúdez de Alvear, Martínez-Arquero, Barón y Hernández-Mendo, 2010).

Según algunos expertos, los trastornos psicosociales suelen ser la causa principal de la pérdida de salud de los docentes. Estos los afectan con el estrés crónico

—también nombrado en algunos estudios como distrés— y aumentan el riesgo de aparición de alteraciones emocionales y cognitivas, así como de trastornos psicosomáticos (Sánchez y Martínez, 2014; Moyano y Riaño-Hernández, 2013).

Al respecto, Madrid (2012) encontró en su estudio que el distrés desencadena otros daños en la salud de los docentes, dado que quienes lo presentan sufren ansiedad, trastornos del sueño, fatiga neurovisual y fatiga general con frecuencia. Por otra parte, el distrés fue el trastorno de mayor prevalencia en la investigación de Sánchez y Martínez (2014). Los autores determinaron que quienes lo padecen tienen más probabilidades de presentar al menos ocho de diez afecciones vinculadas: ansiedad, depresión, trastornos musculoesqueléticos, del sueño y digestivos, disfonía, fatiga, lumbalgia, cefalea tensional o fatiga neurovisual.

También se ha demostrado que el estrés laboral tiene una relación significativa con trabajar más tiempo de la jornada laboral y recibir órdenes confusas de los directivos, lo que conlleva la aparición de síntomas depresivos, ansiedad e insomnio (González, 2008; Matud, García y Matud, 2006). Según hallazgos de Matud, García y Matud (2006), el estrés laboral se asocia con las emociones y puede manifestarse con síntomas depresivos, ansiedad e insomnio; mientras que el estrés relacionado con factores generales se conecta con molestias gastrointestinales, vértigo, calambres, sofoco y palpitaciones.

Fernández-Puig, Longás, Chamarro y Virgili (2015) revelaron la existencia de seis factores esenciales para la valoración de la salud docente: agotamiento, satisfacción, afectaciones de la voz, alteraciones cognitivas, alteraciones musculoesqueléticas y autoeficacia. En este sentido, se confirma que, al igual que en otros estudios, el agotamiento tiene mayor peso en la varianza y se asocia con un riesgo mayor de sufrir trastornos físicos y psicológicos (Calvete y Villa, 2000; Gil-Monte, 2005; Steinhart, Smith Jaggars, Faulk y Gloria, 2011). Además, es una dimensión central en el síndrome del desgaste profesional (Halbesleben y Demerouti, 2005) que indica que las demandas atendidas por los docentes son excesivas y que se requieren más recursos organizacionales, materiales y formativos para disminuir sus cargas (Hakanen, Bakker y Schaufeli, 2006).

En cuanto al efecto del confort térmico sobre el rendimiento escolar, resultados recientes muestran que quienes estudian en aulas con sistemas de ventilación y calefacción inadecuados tienen menor rendimiento que quienes asisten a salones con ventilación natural (Kalamees, Väli, Kallavus, Kurik y Alev, 2015). Además, se han identificado impactos significativos en el rendimiento atencional, la comprensión y el aprendizaje (Corngati, Filippi y Viazzo, 2007; Mazón, 2014).

Según estudios previos, condiciones acústicas como el ruido y la reverberación impactan en la atención (Murphy y King, 2014; Quintero, 2015). Se evidencia perturbación en la concentración durante la realización de una tarea, lo que implica sobreesfuerzo para completarla (Castellanos y Puentes, 2011; González, 2006). Los hallazgos muestran impacto no solo en la concentración, sino también en la memoria (Haghighi, Chiao y Mohd, 2012; Jahncke, Hygge, Halin, Green y Dimberg, 2011; Ljung, 2003; Quintero, 2015); con afecciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en específico en la comunicación con efectos adversos en la inteligibilidad de la palabra (Haghighi, Chiao y Mohd, 2012).

Por otra parte, el ruido de fondo también se ha asociado con efectos directos en la salud: fatiga, estrés, depresión y pérdida de la capacidad auditiva (Castellanos y Puentes, 2011). Asimismo, se han evidenciado impactos cognitivos y fisiológicos al analizar los niveles del ruido de fondo de baja intensidad (Trimmel, 2012). Los resultados sugieren que los niveles moderados de ruido de baja frecuencia afectan la concentración, el rendimiento mental y la capacidad de trabajo (Małgorzata, 2015). Por otra parte, el ruido intermitente o de impacto puede causar distracciones, sobre todo si posee altos niveles de presión sonora, puesto que las personas se adaptan con más facilidad al ruido continuo y difícilmente ignoran el intermitente de corta duración (Szalma y Hancock, 2011).

Se han desarrollado muchos estándares y recomendaciones para las aulas, debido a los efectos negativos del ruido en el aprendizaje —en especial de los niños—, sobre todo el de alto nivel de ruido de fondo y tiempo de reverberación prolongado (Shield y Dockrell, 2003; Coriolanus, 2010). En Colombia, la NTC 4595 (Ministerio de Educación Nacional, 2006) establece las condiciones acústicas de las aulas, que corresponden al tipo de ambiente A. Aunque se asocia el nivel de ruido de fondo con un valor, el indicador no corresponde con el criterio acústico para evaluarlo. Con respecto al tiempo de reverberación, la norma establece un rango entre 0,9 y 1,0 segundos.

Los criterios acústicos de la NTC 4595 en relación con las guías y los estándares internacionales se deben ajustar desde lo técnico. El confort tiene que abordarse como parte integral del diseño y de la construcción de las edificaciones educativas; así como el acondicionamiento y el aislamiento acústico. El primero enfocado a establecer un tiempo de reverberación adecuado y, el segundo, a la atenuación de los niveles del ruido exterior o del producido por la dinámica de las actividades escolares. Todo esto en función de una mayor inteligibilidad del habla en los recintos.

Capítulo 6

Metodología operativa

Con un enfoque predominantemente empírico-analítico, se llevó a cabo un estudio de tipo transversal con alcance explicativo, mediante técnicas mixtas. La presente investigación se fundamenta en la observación y evaluación ambiental de aulas construidas con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana 4595 (Ministerio de Educación Nacional, 2006), con el objetivo de definir, entre otras cosas, su pertinencia como documento normativo que regula el diseño y la construcción de los establecimientos educativos del país. Dicha normativa define tres tipos de contextos climáticos, según los cuales se establecen diferentes parámetros a cumplir para generar “las condiciones ambientales necesarias para garantizar que un número máximo de los usuarios de las instalaciones escolares no considere el clima como un factor que perturbe el desarrollo de sus actividades” (p. 20). Los climas son moderado, frío y templado, cálido seco y cálido húmedo.

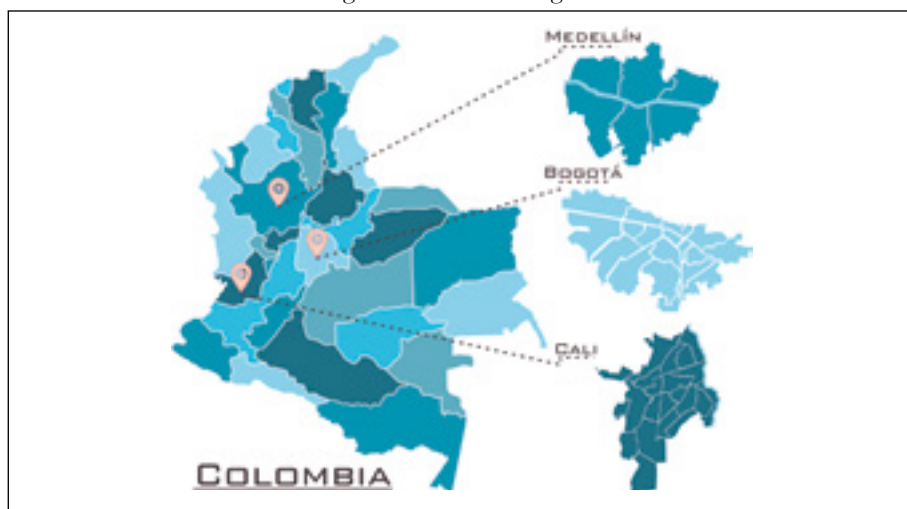
Por lo tanto, se efectuó un muestreo por conglomerados en fases. Al inicio, se eligieron las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali porque representan los tres tipos de climas extremos dentro del territorio nacional. Luego, desde el punto de vista de la infraestructura, se consideró la elección de quince colegios oficiales (cinco de cada capital), construidos después del año 2000 o en los que se hubieran construido bloques o hecho reformas sustanciales posteriores a ese año; sin embargo, en una de las ciudades solo cuatro instituciones contaban con los criterios de inclusión; en consecuencia, quedaron catorce colegios en la muestra.

Se seleccionaron aulas de quinto y sexto grado porque estas albergan estudiantes cuyo momento de desarrollo está al final de la segunda infancia o comienzos de la adolescencia, lo cual permitió disminuir los efectos de la edad en las funciones cognitivas. En el principio se consideró evaluar treinta aulas, por ser $n = 30$ un número mínimo significativo de la muestra. No obstante, por la disponibilidad de un mayor número de salones, se evaluaron 58. De las instituciones elegidas, se analizó la totalidad de los docentes que aceptaron participar en la investigación y se eligieron algunos de niños de los grados mencionados.

Caracterización climática de las ciudades

Colombia es un país tropical situado en la región noroccidental de América del Sur. Su territorio goza de una geografía rica, diversa y montañosa. Presenta una gran variedad de climas, lo que hace difícil una caracterización o clasificación climática general; por lo tanto, se realizó el análisis de las características climáticas principales de cada ciudad (figura 6.1).

Figura 6.1.
Mapa general de la ubicación de las tres ciudades
integradas a la investigación



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las condiciones climáticas, en Cali y Medellín las temperaturas medias anuales son similares, entre 22,5°C y 24,5°C, mientras que en Bogotá son menos elevadas: 13,7°C (tabla 6.1). En cuanto a las máximas, en las dos primeras ciudades están alrededor de los 30°C y en la última solo alcanzan 20°C. Por otro lado, la humedad relativa es más alta en Bogotá (80 %), seguida de Cali (72 %) y Medellín (67 %).

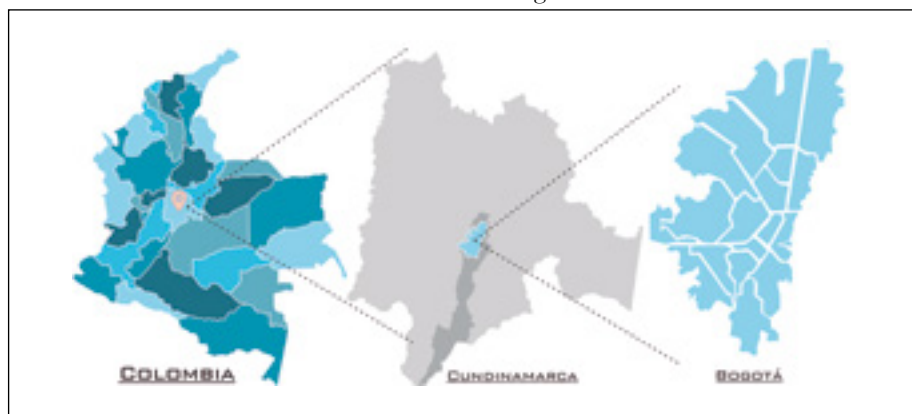
Bogotá, capital del departamento de Cundinamarca (figura 6.2), tiene una temperatura media con poca variación durante el año. Esta oscila entre 8°C y 19,3°C dentro del área urbana. Los promedios más altos se presentan en febrero, marzo, abril y mayo, con 1°C de incremento. La temperatura mínima media presenta los valores más bajos en enero y febrero, con valores que oscilan entre los 5°C y 7°C.

Tabla 6.1
Parámetros climáticos en Medellín, Bogotá y Cali

Parámetro climático	Ciudad	Medellín	Bogotá	Cali
	Estación meteorológica/unidad	Olaya Herrera	Aeropuerto El Dorado	Universidad del Valle
Altitud promedio	msnm	1538	1880	995
Precipitación promedio anual	mm	1752,3	841,2	1483,04
Número de días con lluvia	UNID	227	189	164
Temperatura media promedio anual	°C	22,5	13,7	24,5
Temperatura máxima media	°C	27,8	19,3	29,9
Temperatura máxima anual	°C	28,5	20	31,1
Temperatura mínima media	°C	17,4	7,9	19,2
Temperatura mínima anual	°C	17	6	18,7
Brillo solar	Horas/día	5,1	4,4	5,1
Humedad relativa	(%)	67	80	72

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Figura 6.2.
Ubicación de Bogotá



Fuente: elaboración propia.

La precipitación es de 797 mm al año, distribuida en dos temporadas secas y dos lluviosas. Abril-mayo y octubre-noviembre representan las épocas de mayor lluvia. Predominan los vientos provenientes del este, noreste y norte, con variaciones marcadas entre las horas del día y la noche, debido a los cambios en la temperatura del aire. En relación con la velocidad del viento, se destaca el periodo junio-agosto por registrar mayores valores, en promedio, a lo largo del día (entre 1,5 m/s y 3,8 m/s).

Medellín es la capital del departamento de Antioquia, ubicado al noreste del país entre las regiones Caribe y Andina (figura 6.3). La temperatura promedio ronda los 22 °C, con algunas diferencias entre los barrios de la ciudad, por la diversidad de alturas en su topografía y la morfología.

Figura 6.3.
Ubicación de Medellín



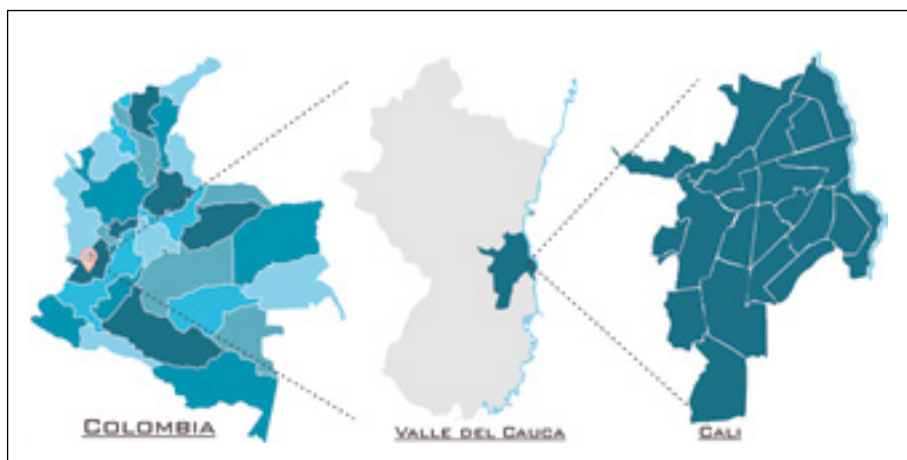
Fuente: elaboración propia.

Durante el año, la ciudad tiene dos épocas lluviosas y dos secas. Los meses de enero y febrero son los más secos del año (nueve días por mes). Los lluviosos (veinticuatro días por mes) van desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. Por su ubicación en el valle, Medellín tiene vientos suaves y constantes. El régimen de vientos está determinado por los vientos alisios predominantes del noreste y las masas de aire cálido que provienen del río Cauca y de Magdalena. El viento predominante sopla en dirección norte-sur.

La tercera ciudad del estudio, Santiago de Cali, es el municipio capital del departamento de Valle del Cauca (figura 6.4), ubicada en la región sur del Valle

del Cauca al Suroccidente de Colombia, sobre la cordillera Occidental en la región andina. En Cali la temperatura promedio ronda los 24°C, con variaciones durante el día y la noche entre 19 y 31°C.

Figura 6.4.
Ubicación de Cali



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en Cali existen periodos de lluvia en diciembre, abril y mayo; y secos, con las mayores temperaturas, en julio y agosto. La velocidad promedio del viento tiene variaciones leves durante todo el año, con los periodos más ventilados en octubre y febrero (superior a 1,4 m/s).

Selección de los colegios por ciudad

Las instituciones educativas seleccionadas en cada ciudad se establecieron desde lo técnico, la localización, la población y el año de construcción, según cinco criterios:

1. Construcción después del año 2000, bajo la NTC 4595
2. Alta demanda poblacional educativa
3. Información planimétrica accesible
4. Institución pública
5. Institución mixta

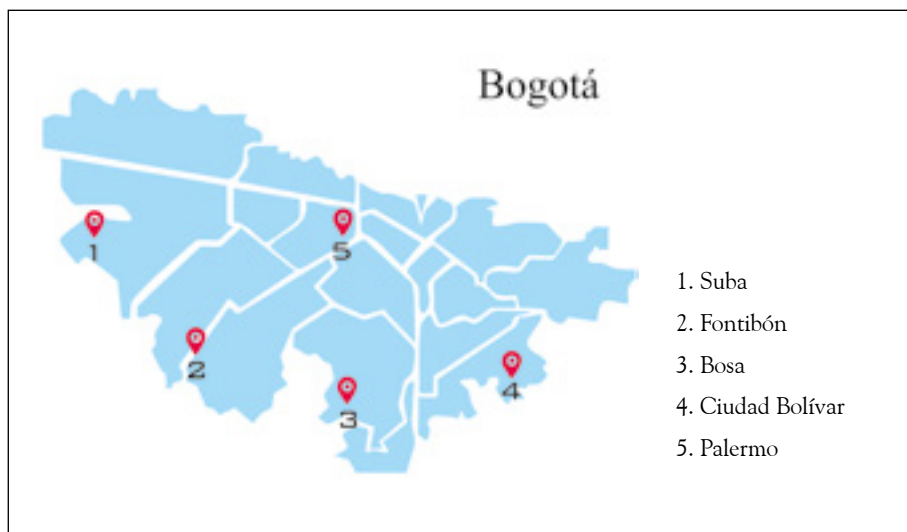
Al contar con las instituciones y con el interés de los rectores y docentes de estas para participar en el estudio, se eligieron aulas con condiciones y acomodación típica, con base en la premisa de que en Colombia aún se aplica un modelo educativo con pedagogías tradicionales de tipo magistral.

Dichas aulas recibían a niños de quinto y sexto grado en diferentes horarios y estaban ubicadas en pisos intermedios. En cada una de las instituciones de las tres ciudades se programaron mediciones en dos momentos del año para analizar condiciones climáticas diferentes. La primera se realizó entre octubre y noviembre del año 2017 y la segunda entre marzo y abril del 2018. Se garantizó que los estudiantes evaluados no repitieran el procedimiento y que cumplieran con los criterios de inclusión.

Bogotá

De acuerdo con los criterios establecidos en el quinto capítulo, en compañía de los funcionarios de la Secretaría de Educación del Distrito de Bogotá (Dirección de Mantenimiento y Conservación de Edificios Escolares), se escogieron cinco colegios en las localidades más pobladas dentro de los bordes de la ciudad y en áreas populares de alta densidad escolar: Suba, Fontibón, Bosa, Ciudad Bolívar y Palermo (figuras de la 6.5 a la 6.10).

Figura 6.5.
Ubicación de los colegios en Bogotá



Fuente: elaboración propia.

Figura 6.6.
Colegio número 1 de Bogotá

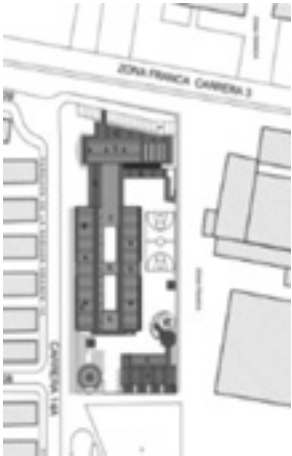


Datos generales
Dirección: carrera 143 #142A-62. Bilbao, Suba.
Latitud: 4° 44' 52.138" N
Longitud: 74° 6' 55.865" O

Primera medición	Masculino	14	5.°
	Femenino	20	
Segunda medición	Masculino	6	5.°
	Femenino	5	
	Masculino	10	6.°
	Femenino	12	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.7.
Colegio número 2 de Bogotá

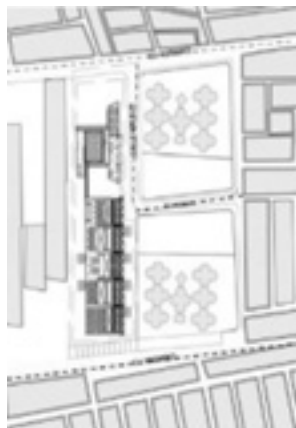


Datos generales
Dirección: calle 14A #108-78. Zona franca de Fontibón.
Latitud: 4° 40' 18.768" N
Longitud: 74° 9' 34.1137" O

Primera medición	Masculino	3	5.°
	Femenino	6	
Segunda medición	Masculino	24	5.°
	Femenino	18	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.8.
Colegio número 3 de Bogotá



Datos generales

Dirección: calle 88C sur #66A-03. San Antonio, Bosa.

Latitud: 4° 37' 30.932" N

Longitud: 74°11'41.279" O

Primera medición	Masculino	19	5.°
	Femenino	16	
Segunda medición	Masculino	26	5.°
	Femenino	41	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.9.
Colegio número 4 de Bogotá



Datos generales

Dirección: carrera 18N #70A-05 sur. Villas del Diamante, Ciudad Bolívar.

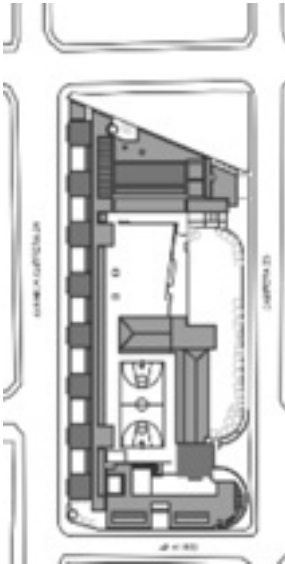
Latitud: 4° 32'59.01" N

Longitud: 74°9'8.75" O

Primera medición	Masculino	4	5.°
	Femenino	6	
	Masculino	9	6.°
	Femenino	4	
Segunda medición	Masculino	0	0
	Femenino	0	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.10.
Colegio número 5 de Bogotá



Datos generales

Dirección: carrera 24 #45C-79. Palermo.

Latitud: 4°38'13.20

Longitud: 74°3'51.22

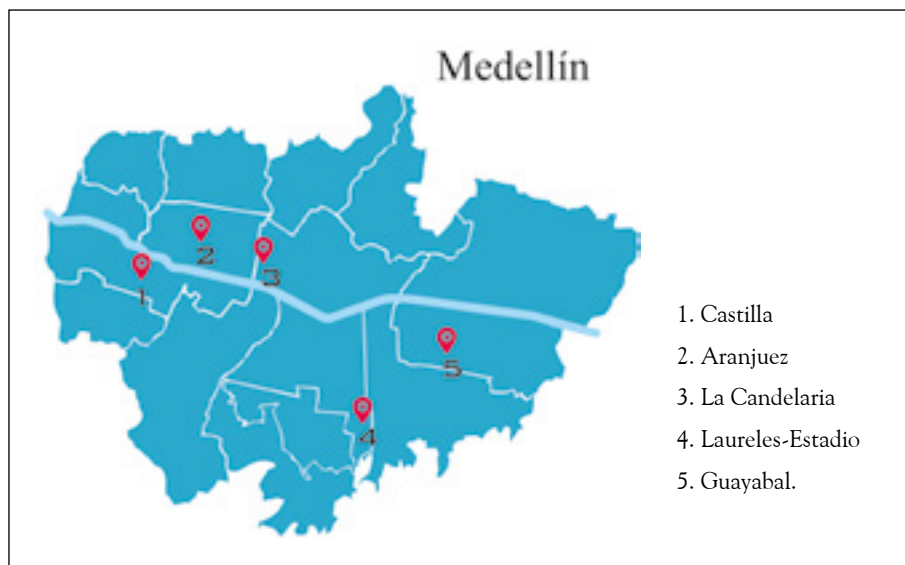
Primera medición	Masculino	0	0
	Femenino	0	
Segunda medición	Masculino	10	5.°
	Femenino	5	

Fuente: elaboración propia.

Medellín

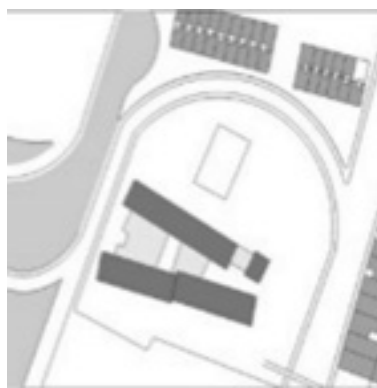
En la ciudad de Medellín se seleccionaron cinco instituciones que cumplían con los requisitos establecidos y demostraron disponibilidad e interés en participar en la investigación (figura 6.11). Para la elección, se tuvo en cuenta que estas estuvieran a distancias considerables, repartidas dentro del área urbana, y que compartieran características respecto a la altitud de los terrenos (figuras de la 6.12 a la 6.16), dado que Medellín se encuentra en el Valle de Aburrá y las características climáticas pueden variar entre una ubicación geográfica y otra. Dichas instituciones están en diferentes comunas de la ciudad: Castilla, Aranjuez, La Candelaria, Laureles-Estadio y Guayabal (figura 6.11).

Figura 6.11.
Ubicación de los colegios en Medellín



Fuente: elaboración propia.

Figura 6.12.
Colegio número 1 de Medellín



Datos generales

Dirección: calle 63A #39-105. Medellín, Antioquia.

Latitud: 6°18'05.32 N

Longitud: 75°33'33.82 O

Primera medición	Masculino	4	6.°
	Femenino	4	
Segunda medición	Masculino	14	5.°
	Femenino	17	
	Masculino	24	6.°
	Femenino	18	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.13.
Colegio número 2 de Medellín



Fuente: elaboración propia.

Datos generales
Dirección: calle 88A #51B-91. Medellín, Antioquia.
Latitud: 6°16'48.53 N
Longitud: 75°33'63.70 O

Primera medición	Masculino	4	6.°
	Femenino	4	
Segunda medición	Masculino	14	5.°
	Femenino	17	
	Masculino	24	6.°
	Femenino	18	

Figura 6.14.
Colegio número 3 de Medellín



Fuente: elaboración propia.

Datos generales
Dirección: carrera 51C #79-56. Medellín, Antioquia.
Latitud: 6°16'26.80 N
Longitud: 75°33'48.99 O

Primera medición	Masculino	0	NA
	Femenino	0	
Segunda medición	Masculino	7	5.° (2)
	Femenino	12	
	Masculino	7	5.° (5)
	Femenino	6	
	Masculino	10	6.° (4)
	Femenino	5	

Figura 6.15.
Colegio número 4 de Medellín



Datos generales

Dirección: calle 42C #92-54. Medellín, Antioquia.

Latitud: 6°25'39.26 N

Longitud: 75°61'45.87 O

Primera medición	Masculino	3	5.°
	Femenino	2	
	Masculino	6	6.°
	Femenino	14	
Segunda medición	Masculino	19	5.°
	Femenino	32	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.16.
Colegio número 5 de Medellín



Datos generales

Dirección: calle 32 #86-35. Medellín, Antioquia.

Latitud: 6°23'39.13 N

Longitud: 75°60'94.71 O

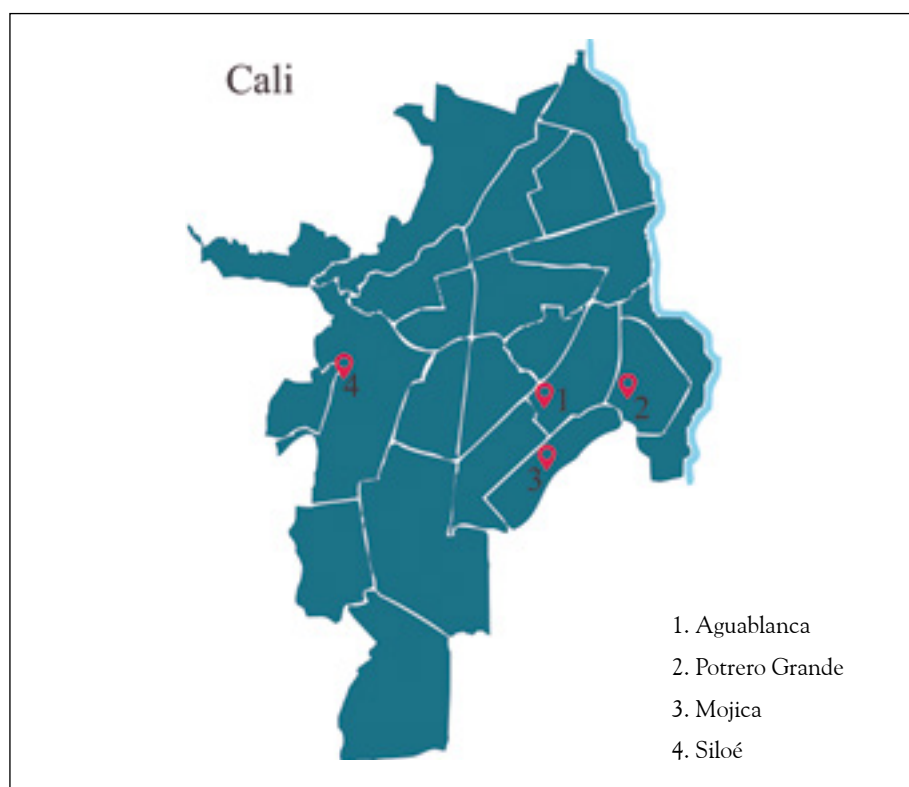
Primera medición	Masculino	17	5.°
	Femenino	12	
Segunda medición	Masculino	10	5.°
	Femenino	4	

Fuente: elaboración propia.

Cali

En Cali se seleccionaron cuatro instituciones (figura 6.17) construidas a partir del 2000¹, año en el que entró en vigor la NTC 4595. A diferencia de las otras dos ciudades, tres de los cuatro colegios están ubicados hacia el oriente del territorio urbano, en el distrito de Aguablanca. Uno se localiza hacia el occidente, al piedemonte de la cordillera Occidental (figuras de la 6.18 a la 6.21). El distrito de Aguablanca alberga alrededor del 30 % de la población de Cali, poco menos de 700.000 habitantes. Los esfuerzos políticos e inversión después del 2000 se dieron casi exclusivamente en dicho sector durante varios años.

Figura 6.17.
Ubicación de los colegios en Cali



Fuente: elaboración propia.

1. Al momento de realizar la investigación, en Cali se habían construido cuatro instituciones educativas después del año 2000, las cuales estaban en pleno funcionamiento. Una institución se encontraba en construcción: el Colegio Llano Verde, al oriente de la ciudad.

Figura 6.18.
Colegio número 1 de Cali



Datos generales

Dirección: calle 76 #28-20. Aguablanca.

Latitud: 3° 23'N

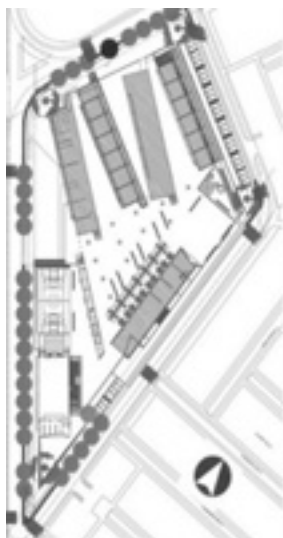
Longitud: 76° 29' 12.12"

Altitud: 955 msnm

Primera medición	Masculino	22	5.°
	Femenino	21	
	Masculino	11	6.°
	Femenino	7	
Segunda medición	Masculino	7	5.°
	Femenino	16	
	Masculino	2	6.°
	Femenino	5	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.19.
Colegio número 2 de Cali



Datos generales

Dirección: carrera 28D, entre las calles 123 y 124.

Potrero Grande.

Latitud: 3° 24'N

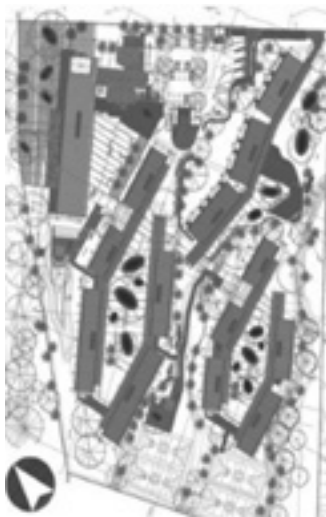
Longitud: 76° 28'

Altitud: 950 msnm

Primera medición	Masculino	18	5.°
	Femenino	10	
	Masculino	10	6.°
	Femenino	13	
Segunda medición	Masculino	13	5.°
	Femenino	8	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.20.
Colegio número 3 de Cali



Datos generales

Dirección: calle 96 #28E3-02. Mojica.

Latitud: 3° 24'40"N

Longitud: 76° 29'10.74"

Altitud: 951 msnm

Primera medición	Masculino	0	5.°
	Femenino	5	
Segunda medición	Masculino	1	5.°
	Femenino	2	
	Masculino	6	6.°
	Femenino	5	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.21.
Colegio número 4 de Cali



Datos generales

Dirección: calle 10 #50-85. Siloé.

Latitud: 3° 25'N

Longitud: 76° 33'13.86"

Altitud: 980 msnm

Primera medición	Masculino	32	6.°
	Femenino	17	
Segunda medición	Masculino	26	6.°
	Femenino	31	

Fuente: elaboración propia.

Definición de la muestra de estudiantes y docentes

Se evaluaron todos los estudiantes de los grupos de quinto y sexto grado, dado que se encontraban al final de la segunda infancia, lo cual disminuyó los efectos de la edad en las funciones cognitivas. Fue necesario que tanto los estudiantes como los padres firmaran los consentimientos informados y no contaran con las características que se establecieron como criterios de exclusión, con el fin de reducir los efectos de las variables intervinientes. Se excluyeron los niños que presentaran por lo menos una de las siguientes condiciones:

- Tener un diagnóstico de alteraciones neurológicas o psiquiátricas, trastornos de aprendizaje, discapacidad intelectual, etc.
- Consumir alcohol u otras sustancias.
- Estar medicado con algún tipo de sustancia que pueda influir en la concentración.
- Tener en su historial académico la repitencia de un grado escolar por bajo rendimiento.
- Presentar alguna limitación física o sensorial que pudiese interferir con la aplicación de las pruebas psicológicas.

1057 estudiantes y responsables legales aceptaron participar en el proyecto durante los dos años. Para el análisis estadístico multivariado fue necesario seleccionar aquellos que tuviesen los datos completos de las mediciones psicológicas, térmicas, lumínicas y acústicas, reduciéndose con esto la muestra de análisis a 865 estudiantes.

La muestra de docentes estuvo compuesta por 298 profesores pertenecientes a instituciones educativas de carácter público de las ciudades de Cali, Medellín y Bogotá. Si bien se evaluaron 304 personas, para el análisis se excluyeron seis, dado que el papel que desempeñan en su institución es de docente orientador, sin carga académica de clases directas, y el presente estudio incluía docentes activos en el rol. De las ciudades mencionadas se obtuvo una participación de 157 en Cali, 114 en Medellín y veintisiete en Bogotá. El rango de edad de los evaluados estuvo entre los veintitrés y los 68 años, con una media de cuarenta años, en donde el 70,5 % fueron mujeres y el 29,5 % fueron hombres.

Después de confirmar las ciudades, los colegios y las aulas que serían evaluados, se generó un protocolo de medición tanto de los componentes psicológicos

como de los ambientes para estandarizar la toma de los datos y la aplicación de las encuestas, con el fin de garantizar la consecución de información válida y comparable. Profesionales de psicología idóneos fueron los encargados de aplicar los instrumentos en ambos grupos.

Componentes del rendimiento cognitivo de los estudiantes

Para la evaluación de los componentes del rendimiento cognitivo de los estudiantes se utilizó el instrumento de evaluación neuropsicológica infantil (ENI), elaborado por Matute, Rosselli, Ardila y Ostrosky-Solís (2007) para analizar a niños de cinco a dieciséis años. Este se estandarizó con el rigor metodológico requerido con muestras de México y Colombia de escuelas públicas y privadas. Se realizaron procedimientos de confiabilidad y validez, como el *test-retest*, el juicio de expertos, las correlaciones con la escala Wechsler de inteligencia para niños (WISC) y la validez interna de sus tareas. La prueba permitió evaluar once procesos neuropsicológicos, denominados dominios, cada uno conformado por subdominios. Para esta investigación se utilizaron dos subdominios que evalúan los constructos de interés y pueden aplicarse de manera grupal:

1. Atención visual: mide la capacidad de seleccionar un estímulo relevante y mantenerse en la tarea con dos actividades específicas:

Cancelación de dibujos: incluye una página con una serie de dibujos de 44 conejos grandes y pequeños. El niño debe tachar con un lápiz los grandes, lo más rápido posible, en un tiempo límite de un minuto. Se da un punto por cada conejo correctamente tachado y se sustrae uno por cada conejo pequeño señalado. La puntuación máxima es 44.

Cancelación de letras: incluye una página con 82 letras distribuidas en varios renglones. El niño debe tachar con un lápiz la letra X, solo cuando está precedida por la A. El tiempo límite es un minuto. Se da un punto por cada acierto y se sustrae uno por cada error. La puntuación máxima es 82.

2. Fluidez gráfica: evalúa las capacidades cognitivas esenciales para tener una conducta eficaz, creativa y aceptada socialmente (Tirapu-Ustároz y Muñoz-Céspedes, 2005) con dos actividades:
 - Semántica: se entrega una página con 35 cuadros de 2,5 centímetros por lado cada uno. El niño debe dibujar el mayor número posible

de figuras con significado durante tres minutos. Se da un punto por cada figura correcta. La puntuación total es el número de figuras dibujadas de modo adecuado.

- No semántica: se entrega una página con 35 cuadros de 2,5 centímetros por lado cada uno. En las esquinas de estos hay un punto negro y en el centro uno blanco. El niño debe dibujar el mayor número posible de figuras geométricas diferentes, uniendo con cuatro líneas los puntos y tocando al menos una vez el punto blanco. Se da un punto por cada figura correcta. La puntuación total es el número de figuras correctamente dibujadas. La puntuación máxima es 35.

Indicadores de la salud mental de los docentes

Para evaluar la salud docente en relación con los aspectos del confort ambiental se utilizaron instrumentos específicos para medir la salud general, el agotamiento emocional y el estrés laboral. Se creó un cuestionario para recolectar información de las variables sociodemográficas y dos cuestionarios para medir la percepción del impacto de las condiciones ambientales en la salud. Además, los profesores respondieron encuestas de percepción con respecto a las condiciones ambientales de las aulas. Los instrumentos fueron:

- **Cuestionario de evaluación del desempeño docente:** creado por el equipo de investigadores, está compuesto por las variables sociodemográficas de interés, como edad, sexo, años laborados, grados en los que enseña, área de enseñanza, entre otros. Los datos recolectados posibilitan la identificación de las características sociodemográficas y del perfil demográfico.
- **Cuestionario de salud general de Goldberg (GHQ-28):** lo desarrolló David Goldberg como un instrumento de autorreporte, con el fin de evaluar la salud mental. Se han elaborado versiones de treinta, veintiocho y doce ítems adaptados y perfeccionados a muestras de habla hispana. En la actualidad, la prueba más utilizada tiene veintiocho, divididos en cuatro subescalas: A - síntomas somáticos; B - ansiedad e insomnio; C - disfunción social; y D - depresión grave. Esta se eligió para la presente investigación, dado que ha demostrado ser buena para detectar problemas de disfunción social y psicosomáticos, ansiedad y depresión (Lobo y Artal, 1986).
- **Cuestionario de estrés laboral de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS):** consta de veinticinco ítems relacionados con la estructura y el clima organizacional,

la tecnología, la influencia del líder, el territorio y la cohesión del grupo de trabajo. Se validó en una muestra de 38.072 trabajadores de todos los sectores de la producción por actividades, tamaño de las empresas, situación socioeconómica de la organización, edad, género, antigüedad y puesto de trabajo. Su utilidad estriba en la capacidad para predecir las fuentes de riesgos psicosociales. Para cada ítem se solicitan siete opciones de respuesta (uno a siete), si la condición es desde nunca o hasta siempre (Menéndez, 2009).

- **Cuestionario de percepción del impacto de los factores ambientales en la salud de los docentes:** lo construyó el equipo de investigadores, a partir de factores identificados como relevantes en trabajos afines (Fernández-Puig, Longás, Chamarro y Virgili, 2015; Lluch, 1999; Shader, 1968).
- **Cuestionario para la evaluación del síndrome de quemarse por el trabajo (CESQT):** la versión utilizada para la presente investigación está compuesta por veinte ítems distribuidos en cuatro subescalas (ilusión por el trabajo, desgaste psíquico, indolencia, y culpa). Si bien se aplicó el instrumento completo, solo se tomó para el análisis la subescala del desgaste psíquico, dado que el interés no era evaluar el *burnout*, sino el agotamiento emocional.
- **Desgaste psíquico (Dp):** mide el agotamiento emocional y físico, debido a que en el trabajo se tiene que tratar a diario con personas que presentan o causan problemas. Altas puntuaciones indican elevados niveles de este.

Campañas para las mediciones ambientales en las aulas

En todas las aulas se realizó un levantamiento arquitectónico del espacio, con el que se especificaron la materialidad, los tipos de ventanas, el índice de reflexión de las superficies interiores, la orientación del espacio, la disposición del mobiliario al interior y las obstrucciones exteriores. En general, se hizo una descripción del contexto físico en el que se insertaba la edificación.

La información planimétrica específica se documentó en formatos CAD y PDF, junto con un informe escrito de eventualidades o características relevantes del levantamiento. Además, esta se referenció de modo geográfico (se especificaron las orientaciones y se tomaron fotografías de los espacios, las cuales debían indicar su posición en la institución):

- Ubicación geográfica de la institución en el plano de la ciudad, orientación y altura sobre el nivel del mar.
- Descripción de la planta física, el número de niveles y la cantidad de bloques.
- Ubicación y caracterización de los muros en la planta y las fachadas interiores (ubicación, espesor, altura, materialidad y color).
- Especificación del tipo de piso en el aula, el nivel en la edificación, la materialidad y el color.
- Ubicación y caracterización de las ventanas y perforaciones en la planta y las fachadas interiores (ubicación, altura, tipo de ventana, existencia de vidrio, materiales translúcidos o polarizados y elementos de sombra internos o externos). Definición del sentido de la abertura (hacia un espacio interior o exterior) y determinación de si esta es practicable o falta algún vidrio.
- Caracterización de la cubierta (altura, cielo raso, materialidad, color y nivel de la edificación).
- Dimensionamiento de las cubiertas exteriores sobre las aberturas.
- Ubicación espacial de los puestos de trabajo con respecto al espacio. Caracterización del mobiliario, la altura del pupitre y la distancia entre ellos. Distancia entre el tablero y la primera y última fila de pupitres. Codificación de una malla de posicionamiento de los puestos en filas (paralelas al tablero, con letras) y columnas (perpendiculares al tablero, con números).
- Ubicación y caracterización del mobiliario (tipo, materialidad, color y tamaño).
- Ubicación y caracterización de los elementos de iluminación artificial (tipo de luminaria, altura y tamaño).
- Ubicación y caracterización de los elementos de ventilación mecánica.
- Planimetría del entorno inmediato e identificación de los elementos aledaños, como otros salones, circulaciones, edificaciones, vías, árboles, etc. Especificación de la altura, la distancia entre el elemento y el aula, el color y la materialidad. Identificación de las alturas y distancias en cortes urbanos en sentido norte-sur y oriente-occidente o en direcciones opuestas y perpendiculares, según lo permita la ubicación del salón.

Además, se calculó el índice de reflexión de los materiales de cada aula: se ubicó el luxómetro sobre la superficie, con el sensor hacia el espacio, de manera que se midiera inicialmente la cantidad de luz que llegaba a ese punto (este

dato se registró como iluminancia incidente). Se tuvo la precaución de no bloquear con el cuerpo la luz incidente. Luego, se giró el luxómetro para que el sensor apuntara hacia la pared (en contacto con esta). Se observaron los valores de iluminancia que mostraba el equipo a medida que se separaba poco a poco el sensor de la pared. Estos valores inicialmente aumentaron, puesto que, a medida que el sensor se aleja, una mayor cantidad de luz llegó a él. Sin embargo, a partir de cierta distancia (cerca de diez centímetros), el valor de iluminancia comenzó a disminuir; a esa distancia se registró el valor, medido como iluminancia reflejada. Finalmente, se calculó el nivel de reflexión con la ecuación: $\text{índice de reflexión} = \text{iluminancia reflejada} / \text{iluminancia incidente}$. Este procedimiento se realizó con todas las superficies del espacio y los datos se registraron en planillas electrónicas.

Campañas de medición de los parámetros ambientales

La medición de los aspectos ambientales en las aulas se organizó con tres tipos de campañas:

A: instalación de sensores

Las mediciones se realizaron con el fin de caracterizar el comportamiento ambiental más común del aula en dos épocas (octubre-noviembre del 2017 y marzo-abril del 2018) durante, aproximadamente, 45 días, de manera que se pudiera tener información para comparar las mediciones específicas de los salones al aplicar las encuestas y evaluaciones. El objetivo fue cotejar el desempeño de treinta aulas de quinto y sexto grado de primaria, localizadas en Cali, Bogotá y Medellín, para generar el insumo básico de análisis de la NTC 4595. Las variables climáticas que se midieron en estos periodos fueron la temperatura del aire y la humedad relativa (tabla 6.2).

Tabla 6.2.
Variables medidas en la campaña tipo A

Variable	Unidad de medida	Periodo de reporte	Ubicación
Temperatura del aire interior	°C	10 minutos	Interior
Humedad relativa interior	%	10 minutos	Interior
Temperatura del aire exterior	°C	10 minutos	Exterior
Humedad relativa exterior	%	10 minutos	Exterior

Fuente: elaboración propia.

Estas variables se midieron con dos termohigrómetros marca HOBO (U12-12), con una frecuencia de captura de diez minutos. Fue importante que los sensores no tuvieran contacto con ninguna persona, fachada ni fuente de calor. Estos se ubicaron de forma equidistante en el salón, colgados o fijados a la pared. Además de las mediciones, para los salones se realizaron simulaciones computacionales de ventilación e iluminación natural.

B: mediciones y encuestas

Estas mediciones censaron las condiciones ambientales de las aulas mientras se realizaban las evaluaciones psicológicas y las encuestas de comodidad, con el fin de relacionarlas con el desempeño de los estudiantes y la salud mental de los docentes (tabla 6.3).

Tabla 6.3.
Variables medidas en la campaña tipo B

Variable	Unidad de medida	Periodo de reporte	Equipo	Ubicación
Velocidad del viento	m/s	15 segundos	Termo anemómetro	4 zonas del salón
Nivel lumínico del plano de trabajo	Lux	2 veces	Luxómetro	Malla de trabajo
Nivel lumínico a la altura de los ojos.	Lux	2 veces	Luxómetro	Ojos de cada sujeto
Temperatura superficial	°C	2 veces	Termómetro infrarrojo o cámara infrarroja	Cada superficie
Temperatura del aire	°C	1 minuto	HOBO	Centro del salón
Temperatura radiante	°C	1 minuto	HOBO + globo negro	Centro del salón
Humedad relativa	%	1 minuto	HOBO	Centro del salón
Ruido de fondo	LAeq, T, F1	30 minutos	Sonómetro integrador tipo I	Centro del salón
Ruido exterior	LAeq, T, F	30 minutos	Sonómetro integrador tipo I	Exterior

Fuente: elaboración propia.

C: mediciones

Esta campaña se realizó en aulas vacías, con el objetivo de establecer el comportamiento ambiental de los espacios cuando no están ocupados (tabla 6.4).

Tabla 6.4.
Variables medidas en la campaña tipo C

Variable	Unidad de medida	Periodo de reporte	Equipo	Ubicación
Tiempo de reverberación	Segundos	No aplica	Sistema de grabación de audio y procesamiento de señal	Interior (evaluación de acuerdo con la ISO 3382)
Ruido de fondo	LAeq, T, F2	30 minutos	Sonómetro integrador tipo I	Interior y exterior (evaluación de acuerdo con la ISO 1996-2)
Ruido exterior	LAeq, T, F	30 minutos	Sonómetro integrador tipo I	Exterior (evaluación de acuerdo con la ISO 1996-2)

Fuente: elaboración propia

En la tabla 6.5 se relacionan los parámetros medidos y evaluados en la investigación y su vínculo temporal con esta. Además, se especifica la relación entre las mediciones y la comodidad, así como las herramientas utilizadas.

Tabla 6.5.
Mediciones por componente y campaña

Confort ambiental	Tipo de campaña	Medición / procedimiento	Equipo / herramienta	Unidad	Tiempo
Confort visual	A	Medición de iluminación en aula con registro de datos en intervalo de cada 10 minutos.	HOBO U12-012	Lux	30 días (min.)
	B	Medición niveles lumínicos a la altura del ojo y en el puesto de trabajo.	Luxómetro	Lux	2 veces por alumno
		Encuesta de percepción y preferencia lumínica.	Encuesta Bioclimática de selección múltiple	-	2 veces por alumno (2 min. cada vez)
Confort térmico	A	Medición de Temperatura y humedad en aula con registro de datos en intervalo de cada 10 minutos.	HOBO U12-012	°C	30 días (min.)
	B	Medición de la humedad relativa del aula al momento de aplicación de encuesta.	HOBO U12-014	%	1 hora aprox.
		Medición de temperatura radiante y temperatura interior del aula al momento de aplicación de encuesta.		°C	1 hora aprox.
		Encuesta de percepción y preferencia térmica.	Encuesta Bioclimática de selección múltiple	-	1 veces por alumno (2 min. cada vez)
		Medición de la velocidad del viento.	Termoanemómetro		20 minutos con reporte cada 15 segundos

(continúa)

Confort ambiental	Tipo de campaña	Medición / procedimiento	Equipo / herramienta	Unidad	Tiempo
Confort térmico	B	Medición de la velocidad de la temperatura superficial.	Cámara termográfica o termómetro infrarrojo	°C	No aplica
Confort acústico	C	Medición tiempo de reverberación aula vacía.	Sistema de grabación de audio y procesamiento de señal.	Segundos	No aplica
		Medición ruido de fondo aula vacía.	Sonómetro Integrador Tipo I	L_{Aeq} , T, F^2	30 minutos
		Medición ruido ambiental aula vacía.		L_{Aeq} , T, F	
	B	Encuesta de percepción acústica.	Encuesta ingeniería acústica con pregunta abierta	-	1 vez por alumno (2 min cada vez)
		Medición ruido de fondo aula ocupada.	Sonómetro Integrador Tipo I	L_{Aeq} , T, F^2	30 minutos
		Medición ruido ambiental aula ocupada.		L_{Aeq} , T, F	
Desempeño cognitivo	B	Prueba de sensibilización, ejecución Continua-Visual.	Pruebas ENI	# aciertos - # errores	60 segundos (1 vez por alumno)
		Prueba de atención. Cancelación de letras.			
		Prueba de atención. Cancelación de dibujos.			180 segundos (1 vez por alumno)
		Prueba de fluidez gráfica semántica.			
		Prueba de fluidez gráfica no semántica.			

* Campaña A: mediciones continuas en dos periodos del año en un rango no menor a treinta días.

* Campaña B: mediciones instantáneas de diversas condiciones ambientales, realizadas en simultáneo con las pruebas psicológicas y las encuestas personales.

* Campaña C: mediciones realizadas en treinta minutos en el aula vacía.

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento estadístico del análisis de los resultados

Además de aplicar la estadística descriptiva de base, con el fin de analizar la respuesta de la relación entre los parámetros ambientales higrotérmicos, lumínicos y acústicos que determinan la salud mental de los docentes y el rendimiento cognitivo de los estudiantes, se desarrollaron modelos de regresión lineal multivariada (RLM) para explicar la variabilidad de la variable de estudio (Y) (niños: atención/función ejecutiva; docentes: salud general/estrés/agotamiento emocional) en función de un conjunto de variables predictoras (X) (niños: características acústicas/higrotérmicas/lumínicas; docentes: percepción de interferencia/percepción de sentirse bien frente a condiciones acústicas/higrotérmicas/lumínicas) con la implementación de una ecuación:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j X_j$$

Y: variable dependiente

X_j : variables predictoras

β_0 : término independiente o constante de la regresión

β_j : coeficientes de las variables predictoras

Se ingresaron variables sociodemográficas como consultivas para comprender sus contribuciones únicas y combinadas a los parámetros ambientales del aula. Para lograr un buen ajuste del modelo RLM, las variables predictoras cumplieron con dos condiciones:

1. Los datos de cada variable predictora debían ser normales. Para efectos de este trabajo se usó como criterio de normalidad tener un coeficiente de sesgo-asimetría (CS) menor o igual a 0,5. Si $0,5 < CS \leq 1,0$, se transformaron los datos con la función raíz cuadrada. Si $CS \geq 1,0$, se transformaron los datos con la función logaritmo natural (Webster y Oliver, 2001). Estas transformaciones fueron excluyentes.
2. Se validó que la variable Y dependiera de cada variable predictora, por lo que estas son independientes. Esto se hizo mediante el cálculo del coeficiente de correlación (CS, Pearson). Cuando el CS tendió a cero, se planteó la posibilidad de que la variable predictora sí explicara la variabilidad de la dependiente.

Las variables predictoras que cumplieron de manera simultánea las dos condiciones anteriores configuraron un posible conjunto de variables que pudieran explicar la variabilidad de la variable dependiente. Del conjunto anterior se pudo determinar cuáles de estas configuraron mejor el modelo de la ecuación. Eso se hizo con la implementación del método de mínimos cuadrados ordinarios (*ordinary less squares*, OLS) (Dons, Van Poppe, Panis, De Prins, Berghmans, Koppen *et al.*, 2014) para calcular los términos. Para ejecutar de modo correcto el método OLS, las variables predictoras elegidas cumplieron con los criterios de especificación de este (Fischer y Getis, 2010):

- Determinar si las variables predictoras dan cuenta de la variación de la dependiente. Para esto, se usaron criterios de rendimiento como el coeficiente de determinación ajustado ($AdjR^2$) y el criterio corregido de información

de Akaike (AICc). El mejor rendimiento del modelo configurado mediante la ecuación fue aquel con mayor AdjR^2 o menor AICc.

- Determinar si los residuos se distribuyen normalmente. Con esto se controló la consistencia del modelo para verificar que no faltaran variables predictoras claves. Se usó el *p-valor* del estadístico de Jarque-Bera (*JB*) y la mejor configuración de la ecuación fue aquella con mayor *JB*, si y solo si, $(JB)_{p\text{-value}} > 0,10$.
- En el modelo de la ecuación es necesario que las variables predictoras sean independientes entre sí (criterio de ausencia de redundancia o multicolinealidad). Para esto, el factor de inflación de la varianza (*VIF*) debió ser el mínimo aceptable si y solo si, $(VIF) < 7,50$.
- Los coeficientes de las variables explicativas deben ser significativos. Por tanto, se usó el *p-valor* de los residuales de Breusch-Pagan *K(BP)*. Una variable predictora fue más significativa si su valor *K(BP)* estaba por debajo del mínimo aceptable si y solo si, $K(BP)_{p\text{-value}} > 0,05$.

Se implementó el aplicativo SPSS®, versión veinticinco, para encontrar la mejor configuración del modelo de la ecuación para cada variable dependiente en cada uno de los años.

Capítulo 7

Análisis comparado

Comodidad térmica

El análisis de la comodidad térmica tiene dos partes: 1. Descripción de las condiciones climáticas registradas con los sensores colocados al exterior de los colegios durante los meses de estudio y 2. Análisis del confort térmico a partir de los dos modelos presentados en el tercer capítulo.

Condición climática a partir de las mediciones

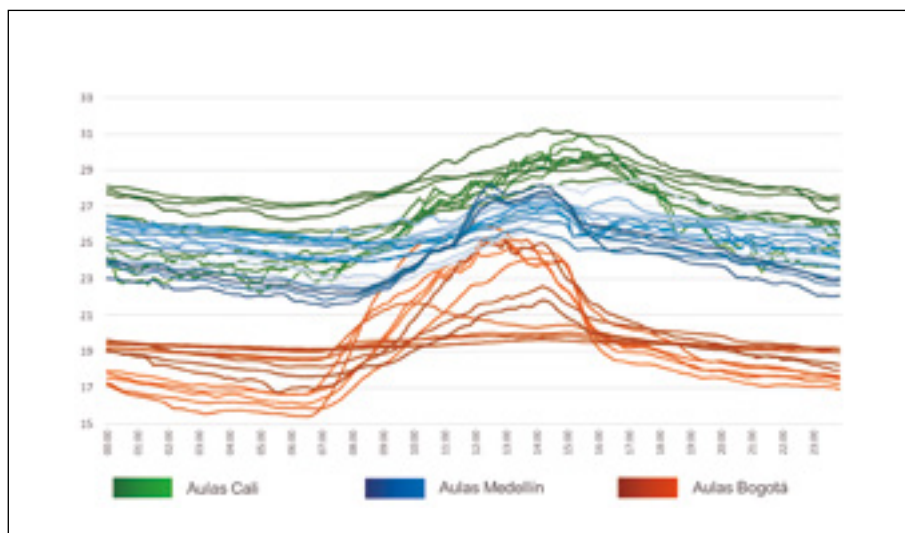
En el desarrollo metodológico de la investigación se realizaron mediciones de las condiciones ambientales en las aulas durante un periodo superior a treinta días, con el fin de caracterizar el comportamiento térmico, lumínico y acústico de estos espacios. Los factores medidos fueron la temperatura del aire y la humedad relativa. Asimismo, se aplicaron encuestas para conocer la percepción y la preferencia de los estudiantes frente al ambiente térmico de los salones.

Las mediciones dieron como resultado temperaturas similares en Cali (entre 20,5 °C y 31,7 °C) y en Medellín (18,5 °C y 29,8 °C), mientras que en Bogotá las temperaturas oscilaron entre 12,9 °C y 24,9 °C, en promedio. Por otro lado, las tres ciudades presentaron una humedad relativa con valores mínimos y máximos similares (entre 36,6 % y 91,5 %).

En las tres capitales las temperaturas interiores en las aulas aumentaron a partir de las 7:00 horas, aproximadamente, y alcanzaron su mayor valor entre las 13:00 y las 16:00. Se resalta que en Bogotá se presentó un mayor diferencial de temperatura, lo que significó un aumento sustancial y rápido del ambiente térmico. En las figuras 7.1 y 7.2 se observa el comportamiento en un día típico.

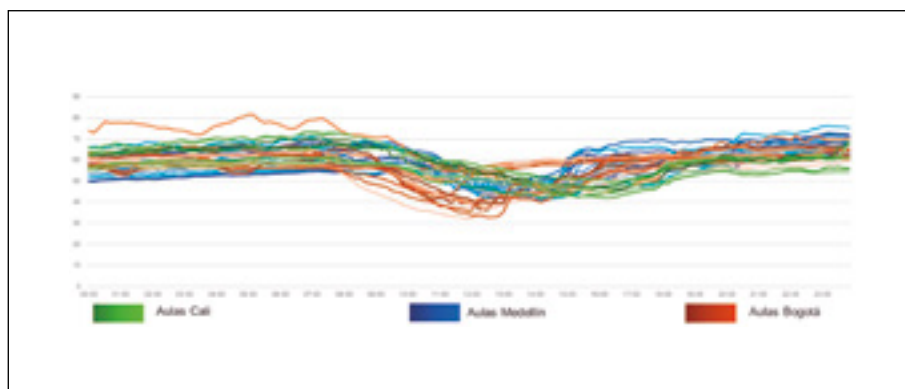
Los niveles de humedad relativa de las ciudades en las aulas tuvieron un comportamiento similar que disminuyó drásticamente en las horas de la mañana y, a partir de ahí, comenzaron a aumentar de nuevo. En Cali se presentó la máxima humedad y la mayor diferencia entre los valores máximos y mínimos (81 % y 42 %). En Bogotá y Medellín el diferencial fue menor y los valores estuvieron entre 32 %-67 % y 40 %-76 %, respectivamente (figura 7.2).

Figura 7.1.
Temperatura exterior en los colegios de Cali, Medellín y Bogotá
(18 de marzo del 2018)



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.2.
Humedad relativa exterior en los colegios de Bogotá, Medellín y Cali
(18 de marzo del 2018)



Fuente: elaboración propia.

Percepción de los niños sobre la sensación y la preferencia térmica

La NTC 4595 recomienda estrategias de diseño para garantizar que el mayor número de ocupantes de los espacios escolares, en este caso, las aulas, “no consideren el clima como un elemento perturbador de sus actividades” (Ministerio de Educación Nacional, 2006, p. 20).

A partir de la encuesta de sensación térmica empleada en el protocolo, se asumen tres categorías centrales como confort: -1 , 0 y $+1$ (Kwok y Chun, 2003; Wong y Khoo, 2003; Zhang, Zheng, Yang, Zhang y Moschandreas, 2007) y cuatro como *disconfort* por frío (negativas) y por calor (positivas): $(-3, -2, +2$ y $+3)$ (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004). Como se observa en la tabla 7.1, la mayoría de los estudiantes manifestaron sentirse en estado de confort en las tres ciudades, con porcentajes similares: 73 % en el año 2017 y 67 % en el 2018.

Tabla 7.1.
Votos en la escala de sensación térmica en los años 2017 y 2018

Año 2017									Año 2018									
Ciudad	Total votos	Disconfort por frio (−3,−2)		Confort		(%)	Disconfort por calor (+2, +3)		n/a	Total votos	Disconfort por frio (−3,−2)		Confort		(%)	Disconfort por calor (+2, +3)		n/a
		Cantidad	(%)	(−1, 0, 1)	(%)		Cantidad	(%)			Cantidad	(%)	(−1, 0, 1)	(%)		Cantidad	(%)	
Cali	209	11	5	157	75	23	11	18	98	22	22	47	48	5	5	24		
Bogotá	110	9	8	71	65	19	17	11	183	43	23	125	68	12	7	3		
Medellín	136	11	8	103	76	20	15	2	244	47	19	181	74	15	6	1		
Total	455	31	7	331	73	62	14	31	525	112	21	353	67	32	6	28		

Fuente: elaboración propia.

Por lo general que es la NTC 4595 en cuanto a los porcentajes de las personas satisfechas e insatisfechas y la relación entre el confort y la temperatura operativa, el análisis se complementó con los lineamientos de la NTC 5316, que aborda las condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2004). Si bien la mayoría de los votos de la percepción se encuentran dentro del confort, en ninguna de las tres ciudades se alcanzó el objetivo propuesto por dicho documento: 80 % de los ocupantes en confort, frente a un máximo de 20 % en *disconfort*. En los años 2017 y 2018 hubo más casos de *disconfort* por calor (14 % y 21 %) que por frío (7 % y 6 %).

Los votos en las categorías de *discomfort* para cada año tuvieron valores similares en las tres ciudades. En el 2017, los mayores casos de *discomfort* se presentaron por calor, entre 11 % y 17 % (Cali y Bogotá); mientras que en el 2018 estuvieron entre 19 % y 23 % (Medellín y Bogotá). Llama la atención la similitud en los votos frente a condiciones ambientales diversas en cada ciudad, lo cual evidencia el grado de acostumbramiento de las personas a las situaciones climáticas exteriores.

La materialidad de la mayoría de las aulas es en bloque de concreto y ladrillo cerámico a la vista, con casos aislados de muros en concreto vaciado. Hay diversidad de orientación y ubicación en diferentes pisos, lo que requiere de un análisis más detallado para ver la relación entre estas condiciones y el confort (figura 7.3).

Figura 7.3.
Colegios número 1 de Bogotá (izquierda),
4 de Medellín (centro) y 3 de Cali (derecha)



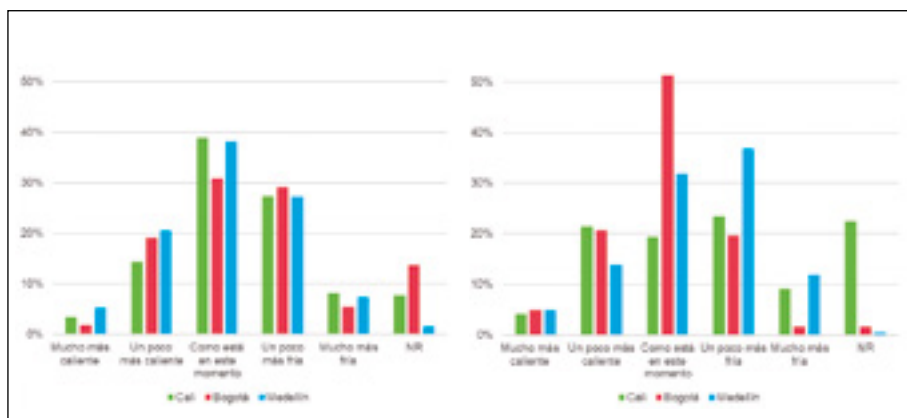
Fuente: archivo de la investigación.

En cuanto a la preferencia térmica, la respuesta de los estudiantes en las tres ciudades arrojó resultados similares, concentrados en la aceptabilidad de las condiciones al momento de realizar la encuesta, seguida de porcentajes más bajos de preferencia térmica hacia un poco más fría y, por último, un poco más caliente (figura 7.4). Se destaca que en el 2017 los sujetos manifestaron en su mayoría, en las tres ciudades, que estaban conformes con las condiciones del aula, seguidos por una preferencia general por que estuviera un poco más fría. Esto se podría explicar por el hecho de que las personas se habitúan a las condiciones climáticas del lugar donde habitan y su confort responde a esto.

En el 2018, las preferencias fueron más heterogéneas: Bogotá tuvo más del 50 % de los niños cómodos con las condiciones; el 20 % las prefería un poco más calientes. Por su parte, en Medellín, 38 % de las personas preferían el espacio un poco más frío y 32 % estaban conformes. Sorprende que en Cali las preferencias se repartieron casi equitativamente entre un poco más caliente, como está en

este momento y un poco más fría. Este resultado contradice lo presentado en la tabla 7.1 sobre la sensación térmica. Esto puede obedecer a razones ajenas a la propia percepción de los niños, dado que en esta ciudad el 24 % de los encuestados no respondieron las preguntas (figura 7.4).

Figura 7.4.
Preferencia térmica en los años 2017 y 2018

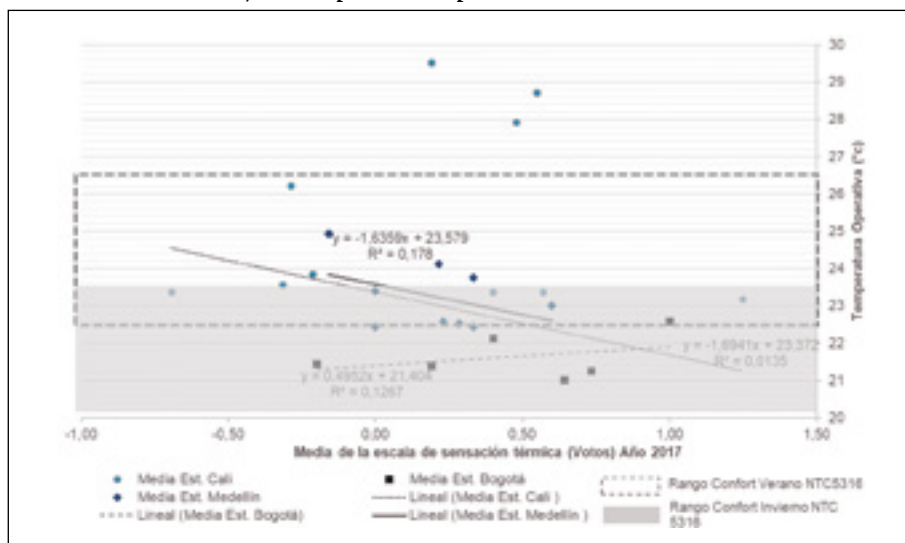


Fuente: elaboración propia.

En las figuras 7.5 y 7.6 se muestra la relación entre la media de los votos sobre la sensación térmica por salón y ciudad en contraste con los rangos de temperatura operativa indicados por la NTC 5316 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2004), los cuales son diferentes para el verano y el invierno. Las encuestas se realizaron en los meses de lluvia (noviembre del 2017 y marzo del 2018), los cuales se asumen como invierno. A partir de lo anterior, en el 2017, gran parte de las aulas de Medellín y la mayoría de las de Cali quedaron por fuera del rango de confort; lo mismo ocurrió en el 2018 con algunas aulas de Bogotá, la mayoría de las de Medellín y todas las de Cali.

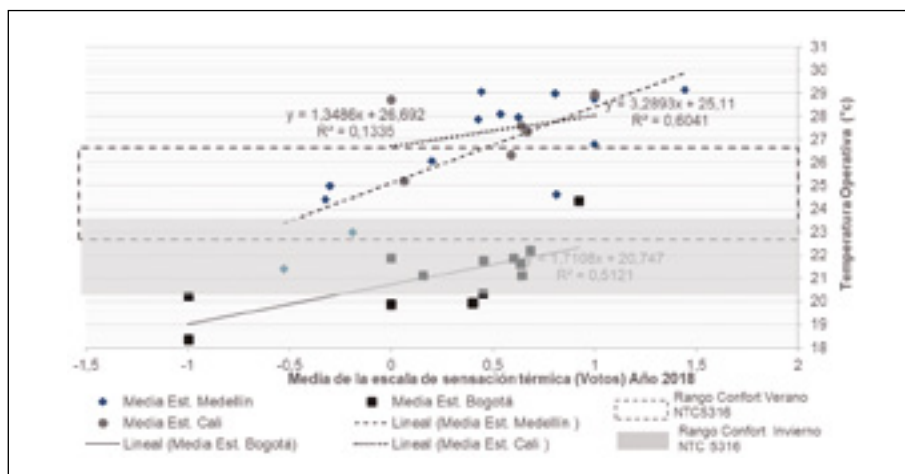
Lo anterior evidencia que los rangos establecidos por la NTC 5316 tampoco reflejan la situación de confort en las aulas, debido a que la mayoría de los estudiantes manifiestan estar cómodos en espacios con temperaturas operativas que alcanzan los 29,5 °C, lo cual excede los límites indicados. Esto demuestra que hay otras variables que influyen en la sensación de confort de los niños, las cuales pueden tener mayor peso, pero no se tienen en cuenta en los documentos normativos colombianos.

Figura 7.5.
Comparación entre los votos sobre la sensación térmica
y la temperatura operativa en el 2017



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.6.
Comparación entre los votos sobre la sensación térmica
y la temperatura operativa en el 2018



Fuente: los autores.

Análisis con el modelo adaptativo

El modelo adaptativo permite determinar el confort térmico, el cual tiene como base la temperatura operativa, sobre la cual se define una franja de confort. En Cali, esta se calculó de 23 °C a 28 °C. En el 2017, para 124 niños, la temperatura operativa estaba dentro de la franja. Para 42 niños hacía calor; de estos, dieciocho excedieron la temperatura de confort en 1,6 °C y el resto en 0,71 °C.

En el 2018, en esta misma ciudad, seis de treinta niños expresaron que hacía calor. La temperatura excedió la franja de confort en 1,01 °C. Los 24 restantes dijeron que la temperatura era confortable. Se resalta que de los 222 registros totales en Cali, cien estuvieron por debajo de la línea media de la franja y 74 por encima, cerca del límite superior, es decir, con tendencia a la zona de calor.

En cuanto a los resultados frente a los lineamientos de la NTC 4595 sobre el diseño de las aulas, se concluye que en Cali los criterios o exigencias se cumplen en un 75,6 %, es decir, sí se sigue la norma, lo cual es coherente con lo arrojado para el confort térmico con el método adaptativo. Los criterios que menos se aplican son los que abordan la orientación de las aberturas y el área de estas.

En Medellín la franja de confort térmico fue de 22,22 °C a 27,22 °C. En el 2017, 98 niños (100 %) dijeron que la temperatura operativa estaba dentro de esta. Los registros fluctuaron entre 22,4 °C y 24,9 °C, es decir, solo se excedió la línea media de la temperatura de confort en 0,18 °C.

En el 2018, 97 (43,5 %) de los 223 registros estuvieron en la zona de confort con un promedio de 24,79 °C; aritméticamente, se ubicaron sobre la línea. El 50,22 % se encontró por encima de la zona, es decir, en el calor. Estos 112 registros tuvieron un promedio de 28,63 °C, lo que significa 1,41 °C sobre la zona de confort adaptativo.

Sobre las pautas de la NTC 4595, se concluye que en Medellín los criterios o exigencias se cumplen en un 70 %, es decir, se siguen algunos. Los más descuidados son la alta transmitancia térmica del material de cubierta y la ausencia de ciellorrasos cuando se construye con un material o sistema que la permite. Otra pauta que no se aplica es el área de aberturas para la ventilación, el cual no se cumple en el 80 % de las aulas. Estas fallas pueden ser la causa del 50,22 % de los registros que sobrepasan la zona de confort térmico adaptativo. Se destaca el cumplimiento de la norma en el diseño de las aulas del colegio 1, con un 91 % de aplicación.

En Bogotá la franja de confort térmico fue de 20°C a 25°C. En el 2017, 92 niños (100 %) dijeron que la temperatura operativa estaba dentro de esta. Los registros fluctuaron entre 21,0°C y 22,6°C, con un promedio de 21,5°C.

En el 2018, 163 (90,05 %) de los 180 registros estaban en la zona de confort, con un promedio de 21,7°C, es decir, sí permanecen en esta área, pero con tendencia a la del frío. Diecisiete registros se encontraban por debajo de la zona, con un promedio de 19,60°C, con 0,73°C, en promedio, por debajo de esta.

Por otra parte, se puede decir que, en general, en las veinte aulas evaluadas en Bogotá los criterios de comodidad térmica de la NTC 4595 se cumplieron en un 53,55 %. En seis los aplicaron en un 75 % y en las catorce restantes fluctuó entre 43 % y 50 %.

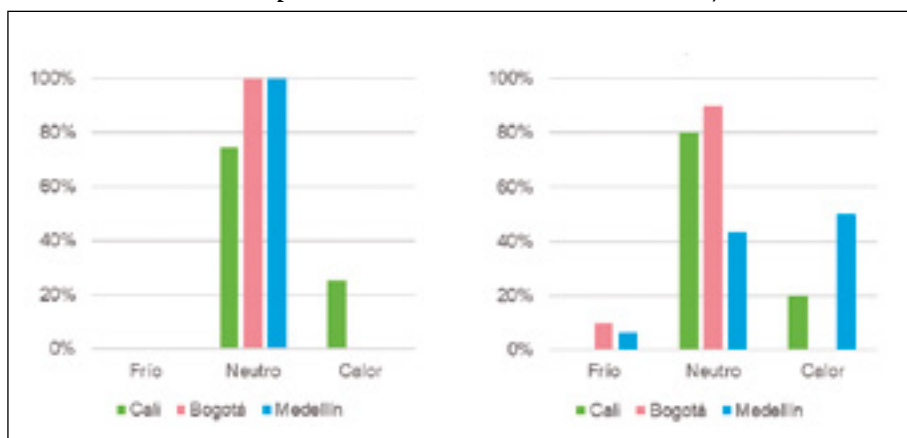
La materialidad de las aulas y su configuración espacial responden de manera más precisa a la norma, frente a los cerramientos en mamposterías de piezas cerámicas y, en algunos casos, en bloque de mortero. Desde el punto de vista térmico, las mamposterías se comportan de modo adecuado, dado que tienen una transmitancia térmica inferior a 3 W/m² por °C y, en general, una masa térmica alta, con lo que acumulan calor y lo reirradian cuando la temperatura del aire disminuye. Las pérdidas o excesivas ganancias térmicas se dan por la cubierta, que es de tejas metálicas en la mayoría de los casos. Esto hace que cuando la temperatura del aire es baja, la operativa al interior de las aulas tienda a disminuir. Esta problemática se acentúa por la ausencia de un cielorraso que aporte al control térmico. En promedio, en las tres ciudades el confort térmico adaptativo estuvo en la zona de confort o neutral en un 75,79 %, en la de calor en un 20,28 % y en la de frío en un 3,93 % (figura 7.7).

Lo anterior lleva a concluir que no hay confort térmico de acuerdo con el criterio definido en la NTC 3116, de un cumplimiento del 80 % de los registros o estudiantes. En Cali se halló un nivel aceptable, puesto que 22,65 % de los registros estaban fuera de la franja de confort, en 1,2 °C por encima, en promedio.

En Medellín, 60,7 % de los registros estaban en la zona de confort y 34,94 % en la de calor; sin embargo, estos no la excedían en más de 2 °C. El restante 4,36 % se ubicó en zona de frío. En Bogotá, 93,75 % de los estudiantes estaba en la zona de confort y el resto en la de frío; no obstante, la tendencia a ubicarse en la zona de frío es alta: el 95,3 % de los registros estaba por debajo de la línea media.

Ante el bajo porcentaje de aplicación de los criterios de la NTC 4595, en Bogotá es coherente que, aunque estén en la zona de confort, los niveles por el método

Figura 7.7.
Confort adaptativo en las aulas en los años 2017 y 2018



Fuente: elaboración propia.

adaptativo tiendan a la de frío. En Medellín, el incumplimiento del 25 % de los criterios puede ser la causa de que 34,94 % de los registros se ubicaran en la zona de calor. En Cali se dio una situación similar, la NTC no se cumplió en un 24,4 % y hubo un 22,65 % de registros en la zona de calor.

El análisis del confort térmico con el modelo analítico y adaptativo arrojó que la mayoría de los niños en las tres ciudades se encuentran en estado de confort, a pesar de que los porcentajes no alcanzan los recomendados por las normas.

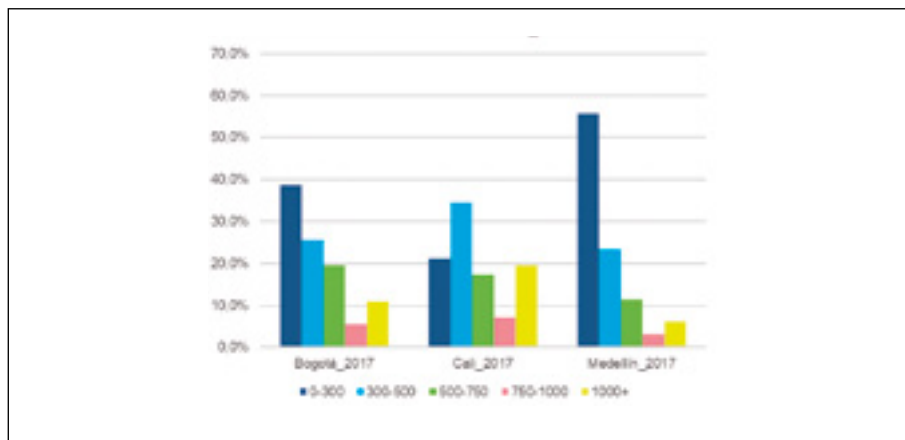
Comodidad visual

En el protocolo de medición y aplicación de las pruebas psicológicas en las aulas, dos de las variables medidas fueron la iluminancia horizontal (Eh) sobre las mesas y la vertical (Ev) a la altura de la cabeza de los estudiantes. Además, con las encuestas, se les preguntó a los estudiantes su percepción sobre la cantidad de luz para realizar actividades de lectoescritura.

Las figuras 7.8 y 7.9 muestran la distribución de las Eh registradas sobre las mesas en las tres ciudades durante los dos años del estudio. La delimitación de los rangos se realizó con base en criterios obtenidos a partir de los niveles exigidos en las normativas: 0-300 lux (insuficiente); 300-500 lux (suficiente bajo); 500 lux-750 lux (suficiente); 750 lux-1000 lux (suficiente alto); y + 1000 lux (excesivo).

Figura 7.8.

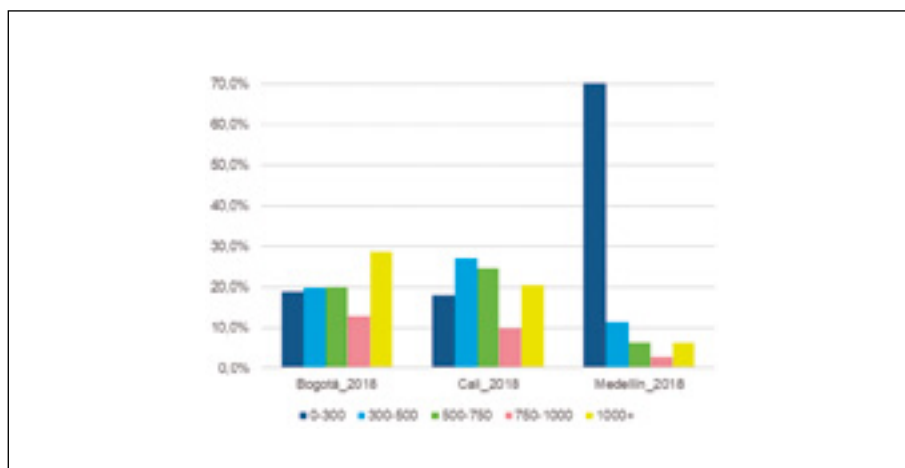
Distribución por rangos de los niveles lumínicos registrados sobre las mesas de las aulas (iluminancia horizontal) durante la aplicación de las pruebas psicológicas en el 2017



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.9.

Distribución por rangos de los niveles lumínicos registrados sobre las mesas de las aulas (iluminancia horizontal) durante la aplicación de las pruebas psicológicas en el 2018



Fuente: los autores.

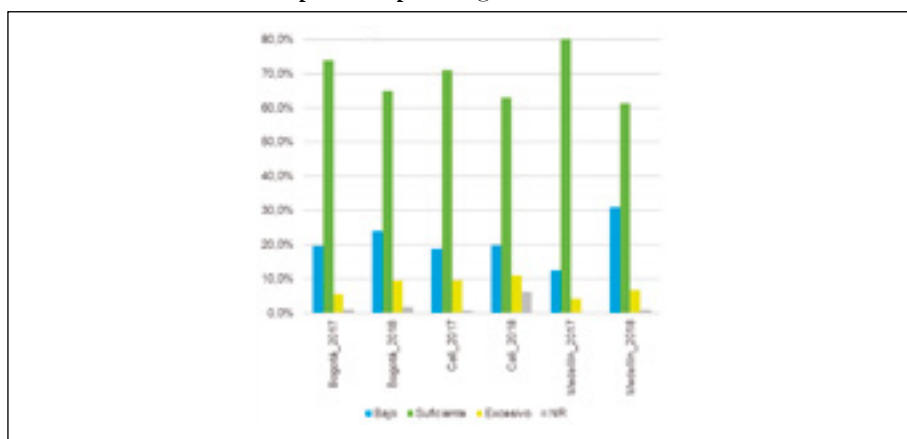
Los resultados evidencian que, en un alto porcentaje, las Eh registradas en Medellín, en promedio 69,3 % y 83,4 %, fueron menores a 300 lux y 500 lux, respectivamente. Esto implica que, en promedio, 16,6 % de los puestos de trabajo evaluados en la ciudad tuvieron niveles lumínicos iguales o superiores a los establecidos por la NTC 4595 (500 lux).

En Bogotá se registraron niveles cercanos a 40 % por debajo de 300 lux y 65 % por debajo de 500 lux, mientras que en Cali se registraron niveles menores de 300 lux el 20 % del tiempo, aproximadamente, y menores de 500 lux en 51 % de las medidas, en promedio. Con los resultados se infiere que, en términos generales, Medellín registró menores Eh, seguida de Bogotá.

En relación con los niveles lumínicos superiores a 1000 lux, las figuras 7.8 y 7.9 muestran que en Medellín hubo pocos registros de este tipo. En Bogotá y Cali se registraron mayores niveles entre el 10 % y 30 % para los dos años.

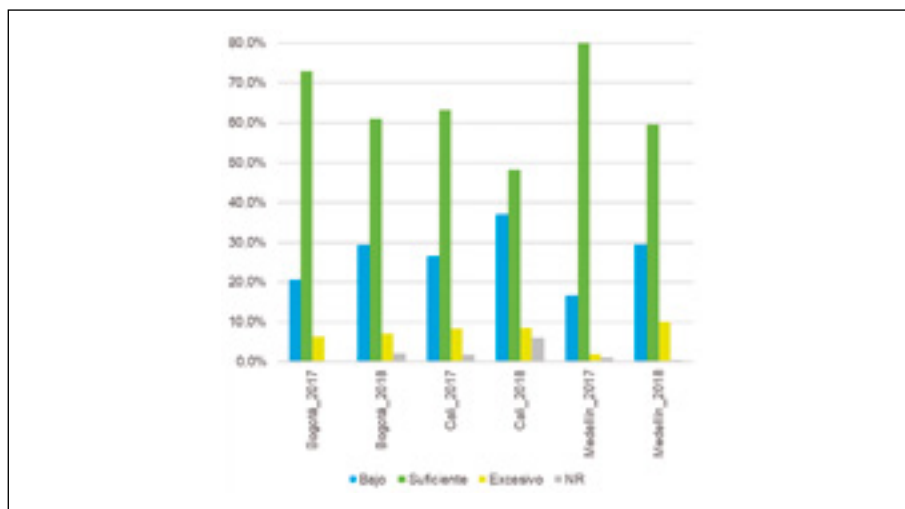
A pesar de esto, la percepción de los sujetos evaluados en ambos años apuntó a que el nivel lumínico se percibía como suficiente: 66,9 % en Medellín, 66,5 % en Bogotá y 54,3 % en Cali. Esto se podría explicar por la adaptación, es decir, la cantidad de luz percibida depende, en parte, de la capacidad del sistema visual de adaptarse a las condiciones lumínicas para realizar una tarea. Por tanto, ante ciertas condiciones del ambiente, un nivel determinado se podría percibir como excesivo, suficiente o insuficiente (figuras 7.10 y 7.11).

Figura 7.10.
Percepción del nivel lumínico durante la aplicación
de las pruebas psicológicas = encuesta 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.11.
Percepción del nivel lumínico durante la aplicación
de las pruebas psicológicas = encuesta 2



Fuente: elaboración propia.

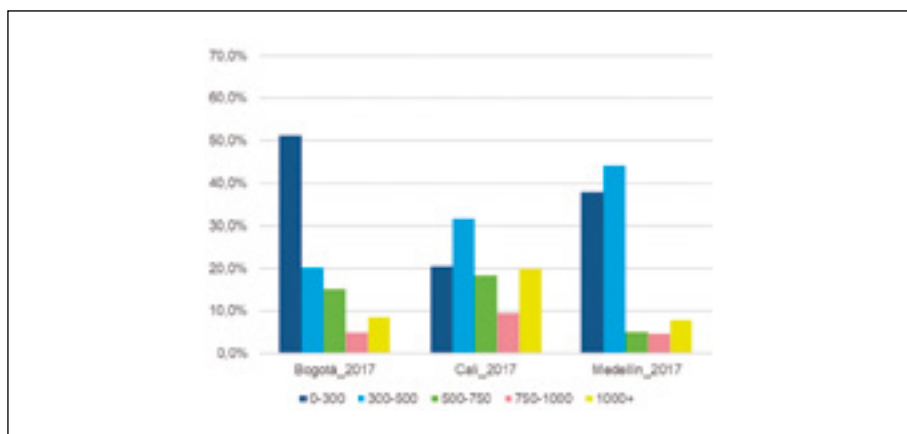
A fin de complementar el análisis, las figuras 7.12 y 7.13 exponen la distribución de las Ev en rangos idénticos a los propuestos en las 7.8 y 7.9. Se evidencia que en Medellín las mediciones registraron en mayor proporción valores por debajo de 500 lux (entre 70 % y 85 %). En este mismo rango, Cali registró alrededor del 40 % de las mediciones y Bogotá entre el 60 % y el 80 %. Cabe mencionar que en Cali los valores de Ev y Eh son similares. En Medellín, los valores de Ev tienden a ser mayores que los de Eh, mientras que en Bogotá sucede lo contrario, aunque las mayores Ev se presentaron en esta ciudad. La tabla 7.2 resume los resultados de las encuestas y mediciones lumínicas.

Comodidad auditiva

De acuerdo con las consideraciones internacionales para la evaluación del confort auditivo, se realizó una valoración del ruido de fondo LAeq y LZeq y del tiempo de reverberación (TR) en las aulas de las instituciones educativas en el marco del proyecto de investigación. Con base en los límites permisibles en el ámbito internacional y en el carácter de la NTC 4595, se halló que en las tres ciudades hay aulas que superan los valores recomendados que aseguran el confort. Se realizó un análisis estadístico con las variables acústicas

Figura 7.12.

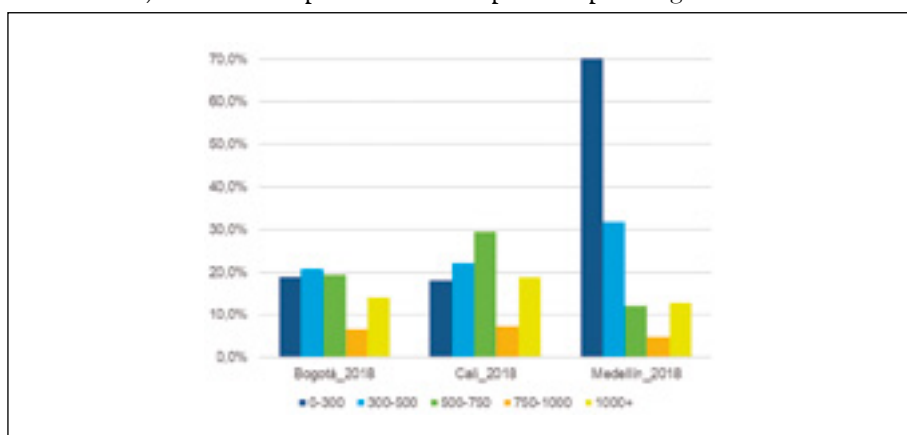
Distribución por rangos de los niveles lumínicos en los ojos (iluminancia vertical) durante la aplicación de las pruebas psicológicas en el 2017



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.13.

Distribución por rangos de los niveles lumínicos en los ojos (iluminancia vertical) durante la aplicación de las pruebas psicológicas en el 2018



Fuente: elaboración propia.

como independientes respecto a las pruebas de salud mental de los docentes y estudiantes. Se encontró una relación del ruido de fondo y el tiempo de reverberación con el rendimiento cognitivo en función de la disminución de la inteligibilidad del habla.

Con la definición de las campañas de medición basadas en lineamientos internacionales para la evaluación del confort auditivo, se llevaron a cabo registros en las tres ciudades. Se midió el nivel de ruido de fondo, de acuerdo

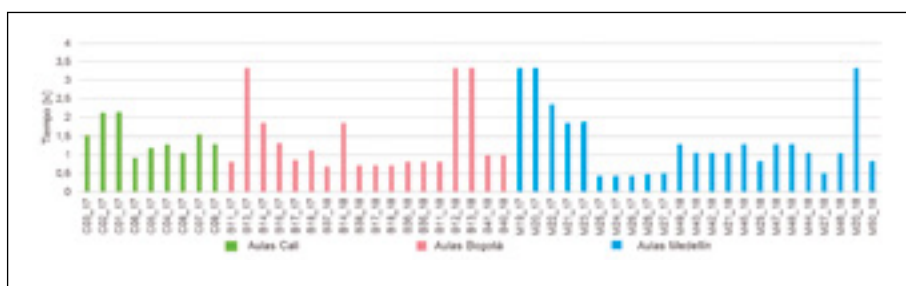
Tabla 7.2.
Descripción del componente de iluminación

		2017			2018		
		Bogotá	Cali	Medellín	Bogotá	Cali	Medellín
Iluminancia horizontal	Promedio	566	691	355	1041	751	346
	Máxima	6254	4521	1906	16480	3842	3178
	Mínima	87	134	38	104	42	29
	% 0-500 lux	64,1 %	55,7 %	79,2 %	38,6 %	45,1 %	84,8 %
	% 500 lux-1000 lux	25,0 %	24,7 %	14,6 %	32,8 %	34,4 %	9,0 %
	% + 1000 lux	10,9 %	19,6 %	6,3 %	28,6 %	20,5 %	6,3 %
Iluminancia vertical	Promedio	385	711	504	598	745	577
	Máxima	6490	4735	6980	4951	3982	3835
	Mínima	56	42	11	75	48	21
	% 0-500 lux	71,3 %	52,1 %	82,3 %	59,7 %	44,3 %	70,4 %
	% 500 lux-1000 lux	20,1 %	28,0 %	9,9 %	26,1 %	36,9 %	16,8 %
	% + 1000 lux	8,6 %	19,9 %	7,8 %	14,2 %	18,9 %	12,8 %
	Eh > Ev	89 %	46 %	19 %	87 %	49 %	22 %
	Ev > Eh	11 %	54 %	82 %	13 %	51 %	78 %
Percepción - encuesta 1	Insuficiente	19,6 %	18,7 %	12,5 %	23,9 %	19,8 %	30,9 %
	Suficiente	73,9 %	71,1 %	83,3 %	65,0 %	63,0 %	61,4 %
	Excesivo	5,4 %	9,6 %	4,2 %	9,4 %	11,1 %	6,7 %
	NR	1,1 %	0,6 %	0,0 %	1,7 %	6,2 %	0,9 %
Percepción - encuesta 2	Insuficiente	20,7 %	26,5 %	16,7 %	29,4 %	37,0 %	29,6 %
	Suficiente	72,8 %	63,3 %	80,2 %	61,1 %	48,1 %	59,6 %
	Excesivo	6,5 %	8,4 %	2,1 %	7,2 %	8,6 %	10,3 %
	NR	0,0 %	1,8 %	1,0 %	2,2 %	6,2 %	0,4 %

Fuente: elaboración propia.

con el estándar ISO 1996-2 (International Organization for Standardization, 2007), en cada aula. De igual forma, se estimó el tiempo de reverberación a través de mediciones con el estándar ISO 3382 (International Organization for Standardization, 2009) y la simulación con modelos derivados de la acústica geométrica. La instrumentación utilizada cumplió con los requisitos exigidos por los estándares ISO mencionados. Los resultados de la evaluación del tiempo de reverberación se resumen en la figura 7.14.

Figura 7.14.
Tiempo de reverberación para las aulas evaluadas en las ciudades de Cali (C), Bogotá (B) y Medellín (M)

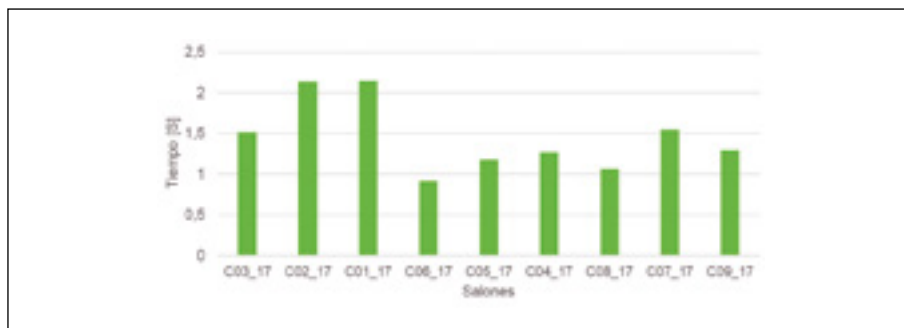


Fuente: elaboración propia.

Las figuras 7.15, 7.16 y 7.17 exponen diferencias significativas en los tiempos de reverberación de las aulas, tanto entre ellas como en cada ciudad. Aunque en algunas de estas el tiempo fue inferior a 1,0 segundos, se evidenció el incumplimiento en otras, por lo que la aplicación de la NTC 4595 no se garantiza como parte del confort auditivo. En Medellín y Bogotá hay aulas con tiempos de reverberación exagerados, lo que indica que este es un factor fundamental que influye en la inteligibilidad del habla y, por lo tanto, afecta los procesos cognitivos. Por otra parte, desde la figura 7.18 hasta la 7.21, se presentan los niveles de ruido de fondo LAeq y LZeq, medidos en aulas desocupadas.

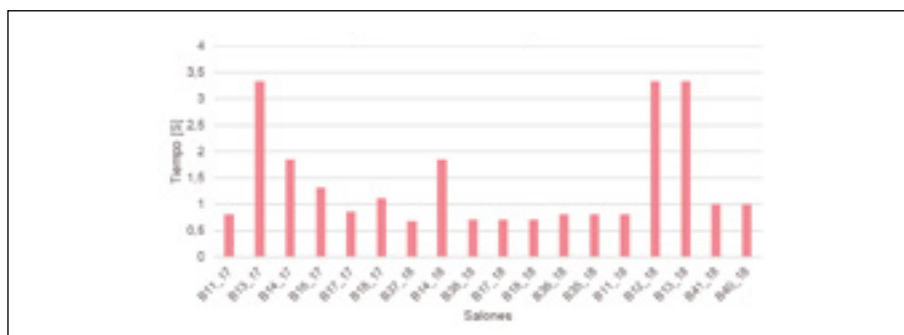
Los niveles de ruido de fondo evaluados demuestran una superación en todos los casos del criterio del *Building Bulletin 93* (BB93) de 40 dBA (LAeq) (Department for Education and Skills, 2003). Esto indica que este parámetro acústico no se encuentra en un rango aceptable que asegure confort en las aulas. Estos niveles se asocian con fuentes de ruido ambiental por las actividades humanas al exterior del aula dentro de la institución o en el vecindario. Es necesario considerar estrategias para la disminución de los niveles, sobre todo en los elementos constructivos, con base en los demás factores ambientales, térmicos y visuales.

Figura 7.15.
Tiempo de reverberación de las aulas evaluadas en Cali



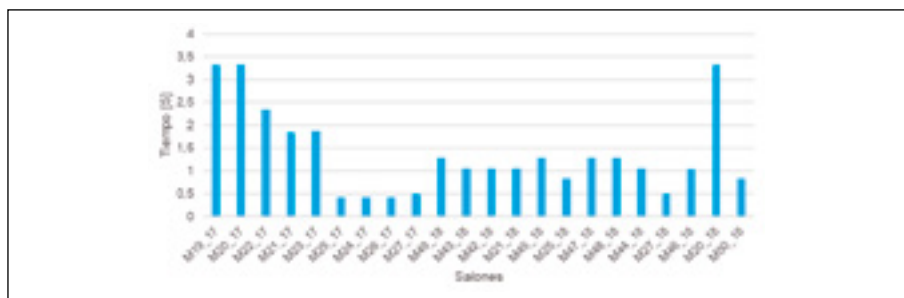
Fuente: elaboración propia.

Figura 7.16.
Tiempo de reverberación de las aulas evaluadas en Bogotá



Fuente: elaboración propia.

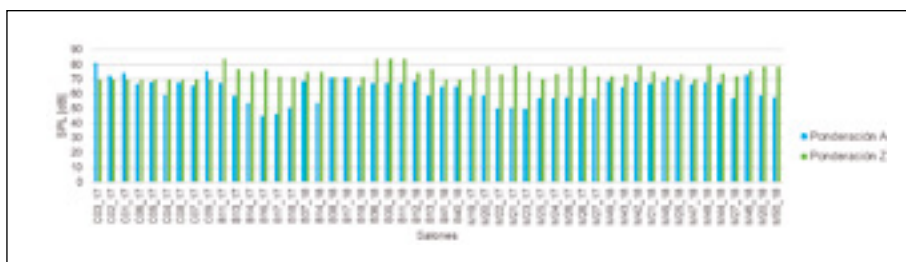
Figura 7.17.
Tiempo de reverberación de las aulas evaluadas en Medellín



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.18.

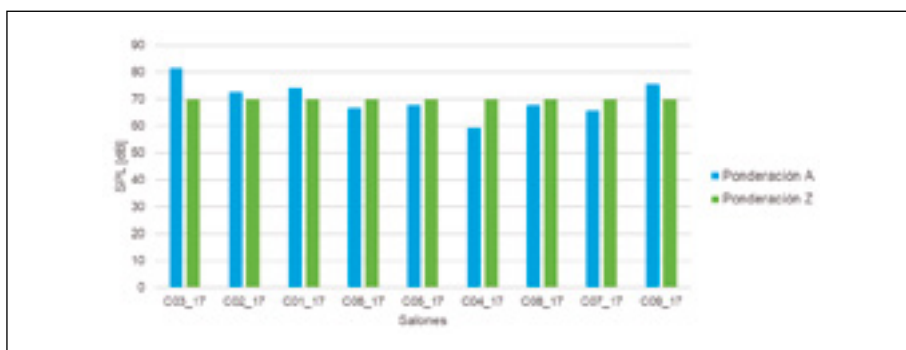
Ruido de fondo LAeq y LZeq para las aulas evaluadas en las ciudades de Cali (C), Bogotá (B) y Medellín (M)



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.19.

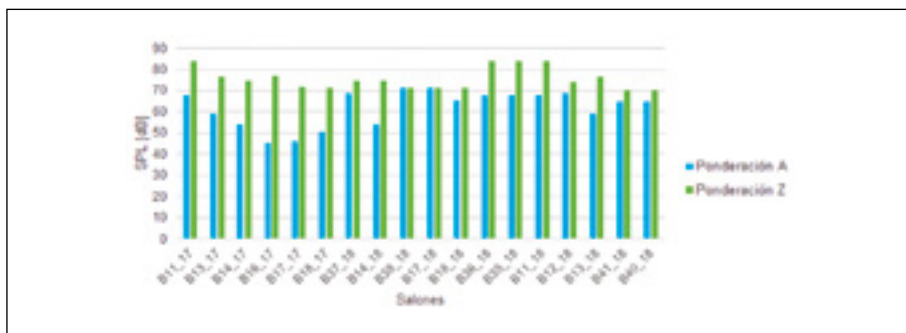
Ruido de fondo LAeq y LZeq para las aulas evaluadas en la ciudad de Cali



Fuente: elaboración propia.

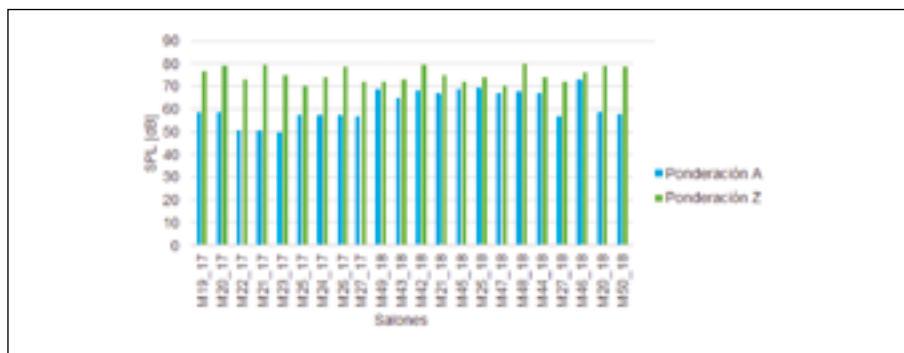
Figura 7.20.

Ruido de fondo LAeq y LZeq para las aulas evaluadas en la ciudad de Bogotá



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.21.
Ruido de fondo LAeq y LZeq para las aulas evaluadas
en la ciudad de Medellín



Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados se realizó un análisis estadístico en el cual las variables acústicas se tomaron como posibles variables predictoras frente a las dependientes de la salud mental: *aciertos en la cancelación del dibujo*, *total de la cancelación del dibujo*, *aciertos-errores*, *raíz puntaje fluidez semántica* y *raíz puntaje fluidez no semántica*. Con las mediciones se obtuvieron indicadores acústicos adicionales, con el fin de relacionar un mayor número de variables predictoras:

- Tiempo de reverberación (TR) (segundos).
- Diferencia en el TR (segundos): hace referencia a la diferencia entre el TR establecido por la NTC 4595 y el BB93, de 1,0 segundo.
- Ruido de fondo LAeq (dBA): nivel de presión sonora continua equivalente ponderado A, medido con el recinto desocupado.
- Ruido de fondo LZeq (dBZ): nivel de presión sonora continua equivalente ponderado Z, medido con el recinto desocupado.
- Presión sonora A (pascales): se estima a partir del LAeq.
- Presión sonora Z (pascales): se estima a partir del LZeq.
- Diferencia LAeq (dB): nivel de presión sonora de diferencia entre el nivel medido LAeq y el nivel límite para las aulas, de acuerdo con el BB93 en salas reformadas, equivalente a 45 dBA.

En el análisis comparado de los resultados del 2017, la variable dependiente *total de la cancelación del dibujo* *aciertos-errores* presentó una relación inversamente

proporcional a la variable independiente *ruido de fondo LAeq* en las tres ciudades. De igual forma, la variable dependiente *raíz puntaje fluidez no semántica* tuvo un vínculo inversamente proporcional con la independiente *LN presión sonora A*. El ruido de fondo evaluado a través del indicador *LAeq* como variable acústica influyó en las variables dependientes *total de la cancelación del dibujo aciertos-errores* y *raíz puntaje fluidez no semántica*, lo que indica que, a mayor nivel de ruido, estas disminuyen.

Con respecto a la variable *raíz puntaje fluidez semántica*, en el año 2017 se dio una relación directamente proporcional al *ruido de fondo LAeq* para variables consultivas como sexo = 2 (femenino) y ciudad = 2 (Bogotá). En el caso de la ciudad = 2 (Bogotá) se presentó una relación directamente proporcional entre la misma variable dependiente y la *diferencia LAeq*. Con la variable dependiente *raíz puntaje fluidez no semántica*, en este mismo año, se encontró una relación directamente proporcional con la *LN presión sonora A* en la ciudad = 3 (Medellín).

Análisis comparado de los resultados 2017-2018

Con la unión de los datos tomados en los años 2017 y 2018, se realizaron comparaciones que incluyeron las variables consultivas. Se presentan los hallazgos:

- En Bogotá, con la variable dependiente *aciertos en la cancelación de letras*, se encontró una relación inversamente proporcional a la *presión sonora Z* para la variable consultiva grado = 1 (quinto).
- En Cali, la variable *aciertos en la cancelación del dibujo* tuvo una relación directamente proporcional con la *LN presión sonora A*, sin selección de variable consultiva. Asimismo, con respecto a la variable *total de la cancelación de letras aciertos-errores*, se encontró una relación directamente proporcional con la variable independiente *diferencia LAeq*, tomando como variables consultivas el sexo = 2 (femenino) y el grado = 2 (sexto). Para la variable *raíz puntaje fluidez semántica*, la relación con la *diferencia TR* fue inversamente proporcional en función de las variables consultivas sexo = 1 (masculino) y grado = 1 (quinto). La *raíz puntaje fluidez no semántica* se consolidó como directamente proporcional a la variable *LN presión sonora A*, con la variable consultiva sexo = 1 (masculino).
- En Medellín, la variable *raíz puntaje fluidez no semántica* presentó una relación inversamente proporcional a la predictora *LN tiempo de reverberación* para todas las variables consultivas posibles. Esta variable dependiente también

presentó una relación directamente proporcional con el *ruido de fondo* L_{Aeq} , cuando se filtró por el grado = 2 (sexto).

- Con los resultados en las tres ciudades en el año 2017, la variable independiente *raíz puntaje fluidez semántica* se catalogó como directamente proporcional al *ruido de fondo* L_{Aeq} , con la selección de sexo = 2 (femenino) y ciudad = 2 (Bogotá). Esta misma relación de la variable dependiente se presentó con la independiente *diferencia* L_{Aeq} , pero solo con ciudad = 2 (Bogotá). Para la *raíz puntaje fluidez no semántica* se encontró la misma relación directa con la variable LN presión sonora A para la ciudad = 3 (Medellín).
- Con las variables dependientes *raíz puntaje fluidez semántica* y *raíz puntaje fluidez no semántica*, se obtuvo una relación inversamente proporcional a la *diferencia* TR para la primera y una directamente proporcional a la LN presión sonora para la segunda. Estos resultados se dieron con la selección de sexo = 1 (masculino) en Cali, donde también se encontró una relación directamente proporcional entre los *aciertos en la cancelación del dibujo* y la LN presión sonora A . Cuando se tuvieron en cuenta las variables consultivas sexo = 2 (femenino) y grado = 2 (sexto), la variable independiente *total de la cancelación de letras aciertos - errores* mostró una relación directamente proporcional a la *diferencia* L_{Aeq} .

Rendimiento cognitivo estudiantil y comodidad

Con el fin de tener una mayor validez en los resultados, se decidió realizar un análisis por cada año, de modo que se pudiera evidenciar la consistencia de los datos arrojados en los diferentes momentos de la evaluación, dado que esta se hizo con distintos niños. Al principio se validó la homogeneidad de la base de datos para que en cada registro de medición existiera información en todas las variables. Así, para el 2017, se obtuvo una base de datos de 356 participantes, con un promedio de edad de 11,3 años, distribuidos por sexo en 50 % niños y 50 % niñas. 46,6 % de esta muestra era de Cali, 25,8 % de Bogotá y 27,5 % de Medellín. Para el 2018, la muestra quedó conformada por 525 participantes, con un promedio de edad de 10,7 años (49 % niños y 51 % niñas). 23,2 % era de Cali, 34,3 % de Bogotá y 42,5 % de Medellín.

La normalidad de cada variable se validó con base en el criterio del coeficiente de sesgo-asimetría (CS) y se aplicó la transformación logarítmica o tipo raíz cuadrada para los datos que no cumplían con la normalidad. Además, se validó el coeficiente de correlación de Pearson entre cada variable dependiente y las

predictoras. En las tablas 7.3 y 7.4 se presentan los datos descriptivos de las variables que cumplieron con los parámetros para formar parte de los modelos de regresión multivariada para los años 2017 y 2018.

Tabla 7.3.
Datos estadísticos descriptivos del año 2017

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación	Asimetría
Aciertos en la cancelación del dibujo (atención)	4,0	44,0	25,7	8,5	0,3
Total de cancelación del dibujo (atención) aciertos-errores (atención)	4,0	44,0	25,3	8,5	0,3
Raíz puntaje fluidez semántica (función ejecutiva)	1,0	2,1	1,7	0,2	-0,4
Raíz puntaje fluidez no semántica (función ejecutiva)	0,0	2,1	1,6	0,2	-0,4
LN E horizontal (1) 1	1,3	2,2	1,8	0,1	-0,3
LN E vertical (1) 2	0,9	2,2	1,8	0,1	-0,3
LN E horizontal (2) 3	1,5	2,1	1,8	0,1	0,1
LN E vertical (2) 4	1,4	2,1	1,8	0,1	0,1
Humedad 5	54,0	79,6	67,0	7,7	0,2
TG-TA 6	-0,9	0,6	0,0	0,4	-0,5
Raíz tiempo de reverberación	0,7	1,8	1,2	0,6	0,0
Ruido de fondo LAeq	45,3	81,4	61,3	9,7	0,2
Diferencia LAeq	0,3	36,4	16,3	9,7	0,2
LN presión sonora A	-5,6	-1,4	-3,8	1,1	0,2

* Las convenciones de las variables se explican al final de la tabla 7.4.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.4.
Datos estadísticos descriptivos del año 2018

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación	Asimetría
Raíz puntaje fluidez semántica (función ejecutiva)	0,0	6,2	3,0	0,7	-0,11
Raíz puntaje fluidez no semántica (función ejecutiva)	0,0	4,4	2,5	0,8	-0,24
LN E horizontal (1)	3,4	8,6	6,0	0,9	0,25
LN E vertical (1)	3,0	8,3	6,0	0,8	0,15
LN E horizontal (2)	3,7	9,7	6,0	1,0	0,47

(continúa)

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación	Asimetría
LN E vertical (2)	3,2	8,5	6,1	0,9	0,23
Temp. aire	18,2	29,3	24,5	3,1	0,08
Temp. globo	18,8	29,3	25,1	2,8	-0,26
Humedad	34,3	77,8	55,2	12,1	0,28
Temp. rad. media	18,6	29,2	24,8	2,8	0,07
Temp. operativa	18,4	29,2	24,7	2,9	0,09
Sensación térmica m. adaptativo	-10,0	10,0	1,7	5,1	0,26
Relación temp. neutra	-4,5	4,4	0,5	2,3	0,35
Presión sonora A	0,0	0,1	0,0	0,0	0,52

* En las tablas 7.3 y 7.4

- LN horizontal (1): logaritmo natural de la iluminancia horizontal registrada en la primera parte de las mediciones.
- LN vertical (1): logaritmo natural de la iluminancia vertical registrada en la primera parte de las mediciones.
- LN horizontal (2): logaritmo natural de la iluminancia horizontal registrada en la segunda parte de las mediciones.
- LN vertical (2): logaritmo natural de la iluminancia vertical registrada en la segunda parte de las mediciones.
- Humedad: valor de humedad relativa registrado al aplicar las encuestas y los test de psicología.
- Temperatura del aire: valor de temperatura, en grados centígrados, registrado con sensores (*datalogger*) al aplicar las encuestas y los test de psicología.
- Temperatura de globo: valor de temperatura, en grados centígrados, registrado con termómetros y globos al aplicar las encuestas y los test de psicología.
- TG-TA: diferencia entre la temperatura de globo y la del aire, registrada al momento de la medición.
- Temperatura radiante media: se calcula con los datos de la temperatura del aire y de globo registrados al aplicar las encuestas y los test de psicología.
- Temperatura operativa: se calcula con los datos de la temperatura del aire, de globo y la velocidad del viento registrados al aplicar las encuestas y los test de psicología.
- Sensación térmica según el modelo adaptativo: valor calculado a partir del modelo adaptativo para espacios ventilados de modo natural (-10 = frío, 0 = neutro, 10 = calor).
- Relación de la temperatura neutra: diferencia entre la temperatura operativa y la de confort, calculada de acuerdo con el modelo adaptativo para espacios ventilados de manera natural.

Fuente: elaboración propia.

La verificación anterior permitió seleccionar para el año 2017 cuatro variables dependientes: dos de atención (*aciertos en la cancelación del dibujo* y *total de la cancelación del dibujo*) y dos de función ejecutiva (*raíz puntaje fluidex semántica* y *no semántica*); además de un conjunto de diez posibles variables predictoras: LN E horizontal (1) y (2), LN E vertical (1) y (2), humedad, TG-TA, raíz tiempo de reverberación, ruido de fondo LAeq, diferencia LAeq y LN presión sonora A.

Para el año 2018 se seleccionaron dos variables dependientes de función ejecutiva: *raíz de fluidez semántica y no semántica*, y doce posibles variables predictoras: *LN E horizontal (1) y (2)*, *LN E vertical (1) y (2)*, *humedad*, *temperatura de aire*, *temperatura de globo*, *temperatura operativa*, *temperatura radiante media*, *sensación térmica según el adaptativo*, *relación de la temperatura neutra y presión sonora A* (tablas 7.5 y 7.6).

Tabla 7.5.

Modelos de la base de datos de estudiantes del 2017 con segmentación

Variable dependiente de atención	Variables predictoras	Consultivas	ADJR2
Aciertos en la cancelación del dibujo	(+) TG-TA	Sexo = 1 Ciudad = 2	40,50 %
	(-) LN E vertical (1)		
	(+) TG-TA	Ciudad = 2	35,00 %
	(-) LN E vertical (2)		
	(+) TG-TA	Sexo = 2 Ciudad = 2	25,30 %
Total de cancelación del dibujo (aciertos-errores)	(+) TG-TA	Sexo = 1 Ciudad = 2	41,00 %
	(-) LN E vertical (1)		
	(+) TG-TA	Ciudad = 2	34,90 %
	(-) LN E vertical (2)		
	(+) TG-TA	Sexo = 2 Ciudad = 2	25,10 %
Raíz puntaje fluidez semántica	(+) Ruido de fondo LAeq	Sexo = 2 Ciudad = 2	29,00 %
	(+) Diferencia LAeq	Ciudad = 2	25,30 %
	(-) TG-TA		
	(-) TG-TA	Sexo = 1 Ciudad = 2	24,60 %
	(-) Humedad	Sexo = 1 Ciudad = 1	12,70 %
Raíz puntaje fluidez no semántica	(+) LN E vertical (1)		
	(+) Humedad	Ciudad = 3	12,30 %
	(+) LN presión sonora A		
	(+) Humedad	Ciudad = 1	10,50 %
	(+) LN E horizontal (1)		

* Los signos de las variables predictoras indican el tipo de relación: directa (+) o inversa (-).
Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.6.

Modelos de la base de datos de estudiantes del 2018 con segmentación

Variable dependiente	Variables predictoras	Consultivas	ADJR2
Raíz puntaje fluidez semántica	(-) LN E horizontal (1)	Sexo = 1	15,30 %
	(+) LN E vertical (2)		
	(-) Humedad		
	(-) Temp. globo		
	(-) LN E horizontal (1)	Sexo = 1	12,70 %
	(+) LN E vertical (2)		
	(-) Humedad		
	(-) Temp. operativa	Ciudad = 1	12,40 %
	(+) LN E vertical (1)		
Raíz puntaje fluidez no semántica	(+) Temp. rad. media	Sexo = 1 Ciudad = 2	34,80 %
	(+) Humedad		
	(-) Temp. globo		
	(+) LN E vertical (1)		
	(+) LN E vertical (2)	Sexo = 1 Ciudad = 2	34,60 %
	(+) Temp. rad. media		
	(+) Humedad		
	(-) Temp. globo		
	(+) LN E vertical (1)		
	(+) LN E vertical (2)	Sexo = 1 Ciudad = 2	30,50 %
	(+) Temp. rad. media		
	(+) Humedad		
	(-) Temp. globo		

* Los signos de las variables predictoras indican el tipo de relación: directa (+) o inversa (-).
Fuente: elaboración propia.

La tabla 7.5 ofrece los mejores modelos explicativos de la atención y la función ejecutiva de la base de datos de estudiantes del 2017, con base en el sexo y la ciudad. Se observa que la variabilidad del rendimiento de los niños en las pruebas de atención y función ejecutiva está entre 10,50% y 41,00% a partir de variables predictoras relacionadas con la luz, la temperatura y variables acústicas.

En el año 2018 (tabla 7.6), solo se pudo explicar la variabilidad del rendimiento de los estudiantes en las pruebas de función ejecutiva entre 12,40% y 34,80%, a

partir de variables predictoras relacionadas con la luz, la temperatura y variables acústicas. Al segmentar la base de datos se encontró que variables como el sexo y la ciudad son importantes. El porcentaje restante del rendimiento de los niños en las variables dependientes se debe a factores individuales y contextuales ajenos a este estudio, como el nivel de inteligencia, las habilidades particulares, la experiencia o el entrenamiento en este tipo de ejercicios, entre otros.

En ambos años, las variables dependientes de fluidez semántica y no semántica estuvieron presentes en las modelaciones. En cuanto a la primera, en los modelos del 2017 se observó que las variables predictoras de acústica (*ruido de fondo LAeq* y *diferencia LAeq*) y la diferencia entre la *temperatura de globo* y la del *aire* (TG-TA) explicaron en mayor porcentaje la variabilidad del desempeño en Bogotá, con cambios por el sexo. En el 2018, las variables predictoras no fueron relevantes, sino las asociadas con la luz (*iluminancia horizontal 1 y vertical 1 y 2*), con aspectos térmicos (*humedad, temperatura de globo y operativa*) en niños (1), lo cual evidenció una variación del porcentaje explicado por sexo y ciudad. La fluidez no semántica en la muestra del 2018 se explica en un 35 % por la *temperatura radiante media*, la *humedad*, la *temperatura de globo* y la *iluminancia vertical* para los varones de Bogotá.

En el 2017, el porcentaje para la fluidez no semántica fue menor: 13 % con variables predictoras, como *humedad* e *iluminancia vertical*, para los estudiantes varones de Cali y 12 %, con las variables *humedad* y *presión sonora A* en la muestra de Medellín. Estas diferencias con los resultados del 2018 podrían indicar que el periodo de medición tiene un efecto notable en la explicación de la inestabilidad de esta variable dependiente.

En ambos años, las variables *iluminancia vertical* y *humedad*, en general, se relacionaron de manera directa con la de *raíz puntaje fluidez no semántica*. Estas predictoras fueron comunes en el 2017 y el 2018, y tuvieron un efecto importante en la explicación de la variabilidad en un 13 % y un 35 %, respectivamente.

Las variables de atención solo pudieron modelarse para el 2017. En la modelación del 2018 no fueron significativas. En todos los modelos fue común la predictora TG-TA, que se relaciona de manera positiva con las variables dependientes. Las otras dos variables comunes asociadas fueron *iluminancia vertical 1 y 2*, que guardan un vínculo negativo con las dependientes. Las anteriores variables explican la variabilidad de los aciertos en la cancelación del dibujo, entre 25,30 % y 40,50 %, y la variabilidad del total de cancelación del dibujo aciertos-errores, entre 25,10 % y 41,00 %. Esto es coherente porque, en un alto porcentaje para este año, hay evidencia de una sensación de confort con tendencia al calor, por

lo que las disminuciones en la temperatura del aire podrían resultar beneficiosas para estas variables de atención en Bogotá. Por otro lado, a pesar de que en esta ciudad se presentaron mayores valores de iluminancia horizontal que vertical, los valores altos que se registraron de esta última fueron notablemente más altos que en el resto de la muestra, lo que pudo implicar una menor adaptación visual al responder las encuestas y los test; por tanto, ante esa muestra, es lógico que la relación sea inversamente proporcional.

Sin involucrar las variables consultivas, se efectuó un análisis con la base de datos del 2017 para las variables dependientes de interés. En la tabla 7.7 se observa que aun cuando el porcentaje explicado sin interacción con variables consultivas es bajo, la direccionalidad de las relaciones entre las variables ambientales con el rendimiento en atención visual o fluidez gráfica es coherente con el expresado en otros estudios. El *total de cancelación del dibujo aciertos-errores* presenta una relación inversamente proporcional a la variable independiente *ruido de fondo LAeq* para la evaluación realizada en las tres ciudades. De igual forma, la variable dependiente *raíz puntaje fluidez no semántica* tiene una relación inversamente proporcional con la variable independiente *LN presión sonora A*. El *ruido de fondo*, evaluado a través de indicador *LAeq* como variable acústica, tiene influencia sobre las variables dependientes *total de cancelación del dibujo aciertos-errores* y *raíz puntaje fluidez no semántica*, lo que indica que, a mayor nivel de ruido, menores serán la cancelación y la fluidez no semántica.

Tabla 7.7.
Modelos del rendimiento cognitivo de los estudiantes
en el 2017 sin variables consultivas

Variable dependiente	Variables predictoras	ADJR2
Aciertos en la cancelación del dibujo	(-) LN E vertical (2)	4,50 %
	(+) TG-TA	
	(+) LN E horizontal (2)	
Total de la cancelación del dibujo (aciertos-errores)	(-) LN E vertical (2)	5,50 %
	(+) ABS TG-TA	
	(-) Ruido de fondo LAeq	
	(+) LN E horizontal (2)	
Raíz puntaje fluidez semántica	(+) LN E vertical (1)	5,60 %
	(-) LN E horizontal (1)	
Raíz puntaje fluidez no semántica	(-) LN presión sonora A	2,90 %
	(-) Humedad	

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, un análisis de los resultados con la base de datos completa (2017-2018) y las variables consultivas de sexo y grado (tabla 7.8), evidencia que en Bogotá se encontró una relación inversamente proporcional de la variable dependiente *aciertos en la cancelación de letras* frente a la *presión sonora Z* para el grado = quinto.

Tabla 7.8.

Mejores modelos de la base de datos de estudiantes en Bogotá

Variable dependiente	Variables predictoras	Consultivas	ADJR2
Aciertos en la cancelación de letras	(-) LN E horizontal (1)	Sexo = niños Grado = quinto	29,70 %
	(-) Presión sonora Z		
	(-) Humedad		
	(-) LN E vertical (1)	Grado = quinto	25,90 %
	(-) Presión sonora Z		
	(-) Humedad		
Raíz puntaje fluidez semántica	(-) LN E vertical (1)	Sexo = niñas Grado = quinto	24,90 %
	(+) Temp. rad. media	Grado = sexto	24,20 %
	(-) LN E horizontal (1)		
	(+) Temp. rad. media	Grado = sexto	9,30 %

Fuente: elaboración propia.

En Medellín, la *raíz puntaje fluidez no semántica* presentó una relación inversamente proporcional al *LN tiempo de reverberación* para todas las variables consultivas posibles. Esta variable dependiente también tuvo una relación directamente proporcional con el *ruido de fondo LZeq*, cuando se filtró por grado = 2 (sexto) (tabla 7.9).

Tabla 7.9.

Mejores modelos de la base de datos de estudiantes en Medellín

Variable dependiente	Variables predictoras	Consultivas	ADJR2
Raíz puntaje fluidez no semántica	(-) LN tiempo de reverberación	Grado = sexto	8,00 %
	(+) Ruido de fondo LZeq		
	(-) LN tiempo de reverberación	Sexo = niñas Grado = sexto	7,70 %

Fuente: elaboración propia.

En Cali, la variable *aciertos en la cancelación del dibujo* tuvo una relación directamente proporcional con la *LN presión sonora A*, sin selección de variable consultiva. Asimismo, con respecto a la variable *total de cancelación de letras*

aciertos-errores, se encontró una relación directamente proporcional con la diferencia $LAeq$, con las variables consultivas sexo = femenino y grado = sexto. Para la variable raíz puntaje fluidez semántica, la relación con la diferencia TR fue inversamente proporcional, en función del sexo = masculino y del grado = quinto. La raíz puntaje fluidez no semántica se consolidó como directamente proporcional a la LN presión sonora A , con sexo = masculino (tabla 7.10).

Tabla 7.10.

Mejores modelos de la base de datos de estudiantes en Cali

Variable dependiente	Variables predictoras	Consultivas
Aciertos en la cancelación del dibujo	(-) Temp. aire	Sexo = niños Grado = quinto
	(-) Temp. globo	Grado = quinto
	(-) Relación temp. neutra	Modelo sin selección
	(+) Temp. aire	
	(+) LN presión sonora A	
Raíz puntaje fluidez no semántica	(+) LN presión sonora A	Sexo = niños Grado = quinto
	(-) Temp. aire	
	(+) LN presión sonora A	Sexo = niños Grado = quinto
	(+) LN presión sonora A	Sexo = niños

Fuente: elaboración propia.

Salud docente y comodidad

La muestra inicial estuvo constituida por 298 docentes, con un rango de edad entre los veintitrés y los 68 años (media: cuarenta años). 70,5 % eran mujeres y 29,5%, hombres (tabla 7.11).

Entre los datos académicos de la tabla 7.11, resalta que 41,8 % de las mujeres y 36,4 % de los hombres son profesionales. Además, 55,3 % de las mujeres y 59,1 % de los hombres tienen posgrados.

Tras validar la homogeneidad de la base de datos, con información para todas las variables en cada registro de medición, quedaron doscientos datos. La normalidad de cada variable se validó con el criterio del coeficiente de sesgo-asimetría (CS) y se aplicó la transformación logarítmica o tipo raíz cuadrada para los datos que no la cumplieron. Además, se validó el coeficiente de correlación de Pearson entre cada variable dependiente y las predictoras. Se

seleccionaron tres variables dependientes: *afección de salud general* (total), *raíz nivel de estrés laboral* (total) y *nivel de agotamiento emocional* (percentil), así como un conjunto de siete posibles predictoras: *LN años de ejercicio docente*, *LN horas laboradas al día*, *raíz percepción de interferencia de la temperatura*, *raíz percepción de interferencia acústica*, *raíz percepción de afección lumínica*, *raíz percepción positiva de la acústica* y *percepción positiva de la temperatura*. Asimismo, se hicieron segmentaciones con variables sociodemográficas (consultivas) (7.12).

Tabla 7.11.
Características demográficas de los docentes, expresadas en porcentajes

	Mujeres (n=210) %	Hombres (n=88) %		Mujeres (n=210) %	Hombres (n=88) %
Nivel académico			Estado civil		
1-Bachiller	,5	1,1	1-Soltero	35,9	34,5
2-Técnico	,5	1,1	2-Casado	36,4	32,2
3-Tecnólogo	1,9	2,3	3-Unión libre	17,5	23,0
4-Profesional	41,8	36,4	4-Divorciado	6,3	10,3
5-Posgrado	55,3	59,1	5-Viudo	2,4	-
			6-Otra	1,5	-
Estrato socioeconómico			Número de hijos		
1	4,3	3,9	0	28,5	39,5
2	25,5	23,7	1	32,0	16,0
3	46,7	52,6	2	29,51	29,6
4	21,7	15,8	3	9,5	12,3
5	1,1	2,6	4	,5	2,5
6	,5	1,3			
Grado de enseñanza			Área de enseñanza		
1-Preescolar	10,7	2,4	0-Ninguna	,5	1,3
2-Primaria (1°-5°)	41,7	14,5	1-Todas	38,3	6,3
3-Secundaria (6°-9°)	25,2	37,3	2-Ciencias naturales y educación ambiental	8,8	7,5
4-Media (10° -11°)	8,3	12,0	3-Ciencias sociales, historia, geografía, constitución política y democracia	7,3	8,8
5-Preescolar y primaria	,5	1,2	4. Educación artística y Cultural	3,6	10,0
6-Primaria y secundaria	1,9	2,4	5.Educación ética y en valores humanos	1,6	-
7-Secundaria y media	11,7	28,9	6-Educación física, recreación y deportes	,5	10,0
8-Preescolar, primaria y secundaria	-	1,2	7-Educación religiosa	1,0	2,5

(continúa)

	Mujeres (n=210) %	Hombres (n=88) %		Mujeres (n=210) %	Hombres (n=88) %
Cargo actual			8-Humanidades y lengua castellana	15,0	6,3
1-Docente	93,0	89,5	9-Matemáticas	9,3	21,3
2-Docente coordinador	6,0	7,0	10-Tecnología e informática	4,1	12,5
3-Coordinador	-	3,5	11-Idiomas extranjeros	3,6	6,3
5-Docente inclusión	1,0	-	12-Emprendimiento	,5	-
Años de ejercicio docente			13-Otra	,5	-
1-Un año	0,5	0,0	14-Dos asignaturas no relacionadas	4,1	1,3
2-Entre 2 y 6 años	12,4	13,8	15-Dos asignaturas relacionadas	,5	2,5
3-Entre 7 y 19 años	51,2	50,6	16-Tres asignaturas no relacionadas	,5	1,3
4-Entre 20 y 30 años	26,3	26,4	17-Dos asignaturas relacionadas y una no relacionada	-	1,3
5-Entre 31 y 40 años	9,1	9,2	18-Tres asignaturas relacionadas	-	1,3
6-Entre 40 y 44 años	0,5	0,0			
Años laborados en el colegio actual					
0-Menos de un año	8,0	3,8			
1-Un año	14,1	12,7			
2-Entre 2 y 6 años	43,7	44,3			
3-Entre 7 y 19 años	30,2	40,5			
4-Entre 20 y 30 años	3,5	1,3			
5-Entre 31 y 33 años	0,5	-			

Fuente: elaboración propia.

La inestabilidad de las variables dependientes está entre 14,40% y 55,60%, a partir de las predictoras relacionadas con la percepción acústica, lumínica y térmica; así como con las horas trabajadas por día y los años de ejercicio docente.

Modelo 1: salud general

Se identifica la variabilidad de la salud general entre 15,00% y 25,00%, principalmente en quienes tienen tres hijos, son solteros y viven en el estrato 2, en el que se encuentran variables predictoras vinculadas con la percepción de la luz y la temperatura. Según esto, a mayor percepción de la afección lumínica, mayor percepción de la interferencia visual y menor percepción positiva de

Tabla 7.12.
Mejores modelos de la base de datos de docentes 2017-2018

Variable dependiente	Variables predictoras	Consultivas	ADJR2
Afección de salud general	(+) Raíz percepción de afección lumínica	Hijo = 3	25,00 %
	(+) Raíz percepción de afección lumínica	Estado civil = 1 "Soltero"	16,40 %
	(+) Raíz percepción de interferencia de la temperatura		
	(-) Percepción positiva de la temperatura	Estrato = 2	15,00 %
Raíz nivel de estrés laboral	(+) Raíz percepción positiva de la acústica	Sexo = 2 "Masculino" Estado civil = 2 "Casado"	55,60 %
	(-) LN horas laboradas al día		
	(-) LN años de ejercicio docente		
	(+) Raíz percepción de afección lumínica	Estado civil = 2 "Casado"	17,90 %
	(-) Percepción positiva de la temperatura		
	(+) Raíz percepción de afección lumínica	Sexo = 1 "Femenino" Estado civil = 2 "Casado"	14,40 %
Nivel de agotamiento emocional	(+) LN horas laboradas al día	Hijo = 1	30,40 %
	(-) Raíz percepción de interferencia acústica		
	(+) Raíz percepción positiva de la acústica	Hijo = 3	29,90 %
	(-) Percepción de interferencia acústica	Sexo = 1 "Femenino" Hijo = 1	25,20 %
	(+) LN horas laboradas al día		

* Los signos de las variables predictoras indican el tipo de relación: directa (+) o inversa (-).
Fuente: elaboración propia.

la temperatura. Por tanto, es más significativa la presencia de afecciones de la salud general.

Para identificar las afecciones se tomó la puntuación del cuestionario de Goldberg (GHQ-28) (Lobo y Artal, 1986), en el cual se dividen los ítems en dos apartados: los positivos que hacen referencia a la salud (A1, C1, C3, C4, C5, C6 y C7) y los negativos que abordan la enfermedad (A2, A3, A4, A5, A6, A7, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, C2, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7). Los primeros se puntuaron 0, 0, 1, 1 y los segundos 0, 1, 1, 1.

En cuanto a las subescalas evaluadas para determinar la salud general, se encontró mayor prevalencia de los síntomas somáticos, con frecuencia de 55,3 % en las mujeres y de 36,8 % en hombres; además, hubo una presencia significativa de ansiedad/insomnio, con frecuencias de 41,2 % y 42,1 % (tabla 7.13).

Tabla 7.13.

Subescalas evaluadas en el cuestionario de salud general Goldberg

	Mujeres (n = 210)		Hombres (n = 88)	
	No caso > = 4	Caso 5 > =	No caso > = 4	Caso 5 > =
Síntomas somáticos	44,7	55,3	63,2	36,8
Ansiedad/insomnio	58,8	41,2		42,1
Disfunción social	95,3	4,7	100,0	-
Depresión	92,9	7,1	96,1	3,9

Fuente: elaboración propia.

Modelo 2: estrés laboral

No se hallaron altos niveles de estrés laboral en los evaluados. Se destacó el nivel intermedio, principalmente en los hombres, quienes presentaron mayor frecuencia (27,9 %) que las mujeres (22,4 %) (tabla 7.14).

Tabla 7.14.

Nivel de estrés laboral, según la Organización Internacional del Trabajo

Nivel		Mujeres (n = 210) (%)	Hombres (n = 88) (%)
Bajo	(< 90,2)	73,3	68,6
Intermedio	(90,3 - 117,2)	22,4	27,9
	(117,3 - 153,2)	4,3	2,3
Alto	(> 153,3)	-	1,2

Fuente: elaboración propia.

La variabilidad más representativa se identificó en el estrés laboral, con un ADJR2 de 55,60% (tabla 7.12). La variable predictora *percepción positiva de la acústica*, que se refiere a sentirse bien, calmado, frente a las condiciones del aula, está inversamente relacionada con las horas laboradas al día y los años de ejercicio docente, lo que sugiere que, a menos años laborados y horas de trabajo, mayor percepción positiva de las condiciones acústicas. Esto, en especial, en hombres casados, según las consultivas.

En este modelo también se identificó que el estrés está asociado con la percepción de afección lumínica en mujeres casadas (14,40%) y hombres casados (17,90%), que presentan, además, una menor percepción positiva de las condiciones térmicas (tabla 7.12); es decir, a mayor afección lumínica, menor percepción positiva de la temperatura.

Esto se podría vincular con el impacto de las condiciones ambientales del aula en los procesos de enseñanza-aprendizaje, con lo cual aparecen consecuencias fisiológicas, cognitivas y emocionales a corto y largo plazo que tienen efectos acumulativos en la población (Folkman, Lazarus, DeLongis y Gruen, 1986; Lazarus y Folkman, 1984).

Modelo 3: agotamiento emocional

Tabla 7.15.
Nivel de agotamiento emocional

Nivel		Mujeres (n = 210)	Hombres (n = 88)
Muy bajo	(< 11)	5,5 %	13,8 %
Bajo	(11-33)	6,0 %	10,0 %
Medio	(34-66)	19,8 %	31,3 %
Alto	(67-89)	14,3 %	3,8 %
Crítico	(> 89)	54,4 %	41,3 %

Fuente: elaboración propia.

En el nivel de agotamiento emocional (tabla 7.15) se identificaron frecuencias significativas en ambos sexos, lo cual es un indicador importante de la salud mental. Se encontraron niveles críticos en las mujeres (54,4%) y en los hombres (41,3%). Cabe señalar que, en el anterior modelo, se identificó una mayor prevalencia del estrés en la población masculina y, en este, mayor agotamiento en la femenina.

En este modelo se registró un ADJR2 de 30,40%, en especial en los docentes que tienen un hijo y trabajan más horas al día, quienes presentan una menor

percepción de las interferencias acústicas. Además, se encontró un 29,90 % de variabilidad en las personas con tres hijos, quienes presentan, de manera paradójica, una mayor percepción positiva de las condiciones acústicas. También se evidenció que, a mayor número de horas laboradas al día, menor percepción de interferencia acústica y mayor agotamiento, con una variabilidad del 25,20 %, principalmente en mujeres con un hijo (tabla 7.12).

Por otro lado, se encontró como predictora importante la variable *horas laboradas al día* (tabla 7.12), la cual apareció en el modelo 2 como predictora del estrés laboral, lo que sugiere un impacto importante de la jornada de trabajo en la salud. Según González (2008), esto conlleva la aparición de síntomas depresivos, ansiedad e insomnio.

Como se plantea en otros estudios, lo observado en este modelo sugiere que el desgaste no se da por el ejercicio docente, sino como consecuencia de otras condiciones: sobrecarga de trabajo, espacios físicos inadecuados para la enseñanza, exposición a grupos numerosos, escasez de recursos pedagógicos y tecnológicos e implementación de metodologías de enseñanza tradicionalmente catedráticas, lo cual lleva a que la tiza y la voz sean las únicas herramientas de trabajo (Myd-larz, Conetta, Connolly, Cox, Dockrell y Shield, 2013; García y Muñoz, 2013; OREALC-Unesco, 2005; Párraga y García, 2005; Rodríguez y Matus, 2002).

Finalmente, la dicotomía entre la percepción positiva de las condiciones y la jornada laboral extendida podría estar conectada con lo que en algunos estudios llaman “fenómeno de adaptación”, por el cual las personas expuestas a condiciones ambientales inadecuadas suelen percibirlas como normales e, incluso, aumentan su esfuerzo atencional para captar los mensajes sin tener dificultades; sin embargo, a largo plazo, estas condiciones provocan mayor fatiga, agotamiento y pérdida auditiva (Organización Mundial de la Salud, 1999; Martínez y Valduquillo, 1990; González y Fernández, 2014).

Capítulo 8

Discusión y recomendaciones a la norma

Esta investigación tuvo como objetivo fundamental identificar la dinámica de los factores de desempeño ambiental (auditivos, térmicos y visuales) que tienen implicaciones en la salud mental de los docentes y en el rendimiento cognitivo de los estudiantes de escuelas públicas de las ciudades de Bogotá, D. C., Medellín y Cali, a la luz de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595 (Ministerio de Educación Nacional, 2006), como línea base para el análisis de la norma de modo que garantice condiciones ambientales óptimas en aulas.

Factores de desempeño ambiental y rendimiento cognitivo de los estudiantes

Definida como la sensación de bienestar con las condiciones lumínicas del ambiente, de modo que se pueda realizar una tarea con facilidad, seguridad y eficiencia, la comodidad visual no solo incluye los niveles lumínicos suficientes, sino también aspectos relacionados con la probabilidad de deslumbramiento, el contraste, entre otros; sin embargo, la mayoría de las investigaciones sobre su incidencia en el rendimiento cognitivo de los estudiantes se enfocan en estos niveles y algunos trabajos mencionan la probabilidad de deslumbramiento.

Con base en los hallazgos de Van Den Wymelenberg e Inanici (2014), en esta investigación se usó la iluminancia vertical para analizar la adaptación a los ambientes lumínicos. Entre los resultados se encontró que, en un alto porcentaje, esta y otras variables vinculadas con aspectos térmicos y acústicos pueden ayudar a explicar el desempeño de los estudiantes en pruebas de atención visual y de fluidez semántica. En un rango entre 56 y 1722 lux, menores iluminancias verticales contribuyeron a mejorar el desempeño en las pruebas de atención visual en Bogotá, donde hay menor disponibilidad lumínica en comparación con Medellín y Cali. Si bien este resultado está asociado principalmente al género masculino, puede explicar que los ambientes en los que se controla el deslumbramiento favorecen el desempeño cognitivo, en especial en tareas con relativa exigencia visual, como las pruebas de fluidez gráfica, en comparación con lo planteado por la California Energy Commission (2003a) sobre la luz natural. Por otro lado, el hecho de haber encontrado esta condición solo en

Bogotá se puede deber a factores culturales, lo cual concuerda con lo hallado por Pierson, Piderit, Wienold y Bodart (2017), debido a la aceptación de las condiciones ambientales de las aulas por situaciones socioeconómicas de los niños evaluados (Trebilcock Kelly, Soto Muñoz, Figueroa San Martín, Piderit-Moreno, 2016) o por el acostumbramiento a menores niveles lumínicos y a las condiciones climáticas locales (Bellia, Fragliasso y Stefanizzi, 2017).

Asimismo, los resultados de esta investigación apuntan a que mayores valores de la iluminancia vertical ayudan a explicar, junto con otras variables térmicas, mejores desempeños en la realización de tareas visuales de menor exigencia, como las pruebas de fluidez no semántica. Para este mismo tipo de pruebas, en consonancia con Baron, Rea y Daniels (1992), iluminancias horizontales menores contribuyen a tener mejores desempeños. Todos estos hallazgos fueron más evidentes en hombres, lo que sugiere que la iluminancia vertical y la horizontal influyen más en el rendimiento cognitivo de ellos que en el de las mujeres.

Desde el punto de vista térmico, en este estudio se observó que las condiciones tuvieron un efecto negativo en el desempeño cognitivo, en mayor medida en los hombres, de acuerdo con el clima de las ciudades. Hubo mayor afectación en Cali y Bogotá, las capitales con escenarios más extremos. La diferencia entre la temperatura de globo y del aire (TGTA) conllevó una mayor variabilidad del desempeño en Bogotá durante el 2017. En las aulas de esta ciudad la ventilación es deficiente, lo cual concuerda con lo anterior y con Kalamees, Väli, Kallavus, Kurik y Alev (2015), quienes afirman que las personas que estudian en aulas con inadecuados sistemas de ventilación y calefacción tienen menor rendimiento escolar que aquellas que lo hacen en espacios con ventilación natural apropiada. Sin embargo, es pertinente revisar algunos casos en los que a mayor humedad relativa y mayor temperatura radiante se evidenció mejor rendimiento en la fluidez no semántica. Esto ocurrió en Medellín (2017) y Cali (2018).

Corgnati, Filippi y Viazzo (2007) y Mazón (2014) reiteran que las condiciones térmicas afectan los niveles de atención; asimismo, Corgnati, Filippi y Viazzo (2007) afirman que estas alteran la comprensión y el aprendizaje. El presente estudio arrojó resultados similares, como se muestra en el séptimo capítulo (análisis comparado); sin embargo, es importante analizar la afectación que causan las condiciones térmicas en el rendimiento cognitivo versus las preferencias de los niños, puesto que el 40 % de los estudiantes indicaron estar cómodos y el 25 % estar muy próximos a la zona de comodidad. Esto último se puede interpretar como la adaptabilidad a las condiciones térmicas; incluso, es posible pensar en una disposición de los niños (de doce años) a no manifestar sus inconformidades.

Jensen, Toftum y Friis-Hansen (2009) demostraron una alta relación entre los votos de sensación térmica y el desempeño en las tareas adicionales. En este estudio se pueden asociar los resultados de los votos: 69,7 % están en la franja neutra, con la relación entre los niveles térmicos y los resultados de las pruebas cognitivas; es decir, por un lado, hay evidencia de la afectación de las condiciones térmicas en el rendimiento en estas pruebas y, por otro, los votos arrojan que, para los niños, las condiciones térmicas no son las más adecuadas en las aulas.

El aumento del nivel de presión sonora al interior de las aulas disminuye la capacidad de realizar actividades asociadas al rendimiento cognitivo. Sin embargo, los resultados no muestran un vínculo consistente con las demás variables dependientes; así, no se denota influencia de los altos niveles de ruido de fondo como efecto sobre el rendimiento. De acuerdo con algunos autores, la concentración de un individuo puede aumentar en función del incremento de los niveles de ruido; no obstante, el agotamiento de los estudiantes es mayor cuando están expuestos al ruido (Castellanos y Puentes, 2011; González, 2006).

La variable predictora TR explica la disminución del rendimiento cognitivo a partir de dos variables dependientes: puntaje de fluidez semántica y no semántica. La relación entre estas es inversamente proporcional, dado que, al aumentar el TR en las aulas, disminuye el puntaje calificado en cada prueba y viceversa. Este resultado es congruente con hallazgos internacionales, según los cuales el TR, como indicador del confort acústico, afecta el rendimiento cognitivo en espacios educativos (Tafur, 2016). Así se establece que la variación de la inteligibilidad en el aula está dada por un cambio del TR, aun en ausencia de ruido de fondo.

Factores de desempeño ambiental y salud mental docente

De acuerdo con investigaciones recientes, las variables de desempeño ambiental —térmicas, visuales e, incluso, auditivas— se enlazan con las afecciones físicas y mentales tanto de los estudiantes como de los docentes.

En coherencia con los resultados de los alumnos frente al ámbito de la comodidad visual, resulta esencial garantizar la visibilidad apropiada de los docentes en el aula, puesto que el ejercicio de la escritura, la revisión de tareas y la lectura también los implica a ellos.

Las pruebas de percepción a los docentes de las instituciones educativas en las tres ciudades arrojaron que el confort auditivo es un factor relevante en su quehacer. Esto se evidenció en la evaluación del agotamiento emocional que, en este caso, hace referencia al cansancio extremo en la labor. De igual forma, la percepción de sentirse bien con el entorno acústico se vincula con el estrés y con el agotamiento emocional. Por lo anterior, las variables acústicas de nivel de ruido de fondo y TR influyen en el esfuerzo del docente para tratar de comunicarse con los estudiantes, lo cual demuestra que la afección es mayor en condiciones desfavorables.

Estudios previos confirman la presencia de síntomas somáticos en el gremio docente (Fernández-Puig, Longás, Chamarro y Virgili, 2015; Sánchez y Martínez, 2014; Erick y Smith, 2011; Bermúdez de Alvear, Martínez-Arquero, Barón y Hernández-Mendo, 2010). Además, hay reportes de trastornos de tipo psicosocial, que, según expertos, suelen ser la causa principal de la pérdida de la salud docente, a través de la vivencia del estrés crónico o distrés, el cual aumenta el riesgo de aparición de las alteraciones emocionales y cognitivas, así como de los trastornos psicosomáticos (Sánchez y Martínez, 2014; Moyano y Riaño-Hernández, 2013).

Con referencia a la salud mental, las variables de desempeño térmicas, visuales y auditivas se relacionaron con las afecciones físicas y mentales tanto de los estudiantes como de los docentes. En relación con estos últimos, Sánchez y Martínez (2014) y Moyano y Riaño-Hernández (2013) han identificado numerosas afecciones que influyen en su salud y calidad de vida, como elevados niveles de fatiga y estrés. En el presente estudio se visualizó que a mayor percepción de interferencia de la temperatura y a menor percepción positiva de la temperatura, se presentan más afecciones de la salud general; y que a menor percepción positiva de la temperatura, ocurren más afecciones por estrés laboral. Además, se reportó que el nivel general del ruido y las condiciones acústicas, así como las características asociadas a las variables demográficas (estar casado, tener hijos, el tiempo de servicio, las horas de la jornada diaria, tener dos o más empleos, etc.), son factores que influyen en la comodidad en el aula. Cabe destacar que estos resultados son coherentes con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (s. f.), que expone que las condiciones ambientales y los espacios laborales pueden afectar la seguridad física o mental, la salud y el bienestar de los trabajadores.

Los años dedicados a la labor docente son un factor importante a la hora de hablar de la salud. Investigaciones sugieren una relación significativa entre el

estrés y la jornada laboral, que conlleva la aparición de manifestaciones depresivas, ansiedad e insomnio, así como fatiga neurovisual y general (González, 2008; Matud, García y Matud, 2006; Madrid, 2012), síntomas reconocidos como representativos en el presente estudio. Por su parte, Fernández-Puig, Longás, Chamarro y Virgili (2005) identificaron una mayor satisfacción en los docentes con menos de cinco años de ejercicio, seguidos de los que tienen entre cinco y diez años. Esto también sucedió en la evaluación posterior del estado óptimo de la salud, en la que se halló una puntuación significativa en las mujeres, principalmente en el factor de satisfacción, lo cual indica una vivencia de la docencia agradable y gratificante (Fernández-Puig, Longás, Chamarro y Virgili, 2015).

Frente a esto, algunos estudios plantean la importancia de diferenciar de manera más ajustada los riesgos psicosociales en los hombres y las mujeres, dado que reconocen que las actividades y ocupaciones específicas están relacionadas con el género. Por lo general, las mujeres se responsabilizan de la mayoría de las labores familiares y domésticas, lo que supone para ellas un mayor esfuerzo de trabajo total. Esta “doble jornada laboral” es lo que se conoce como doble presencia y debe ser fundamental al hablar de la prevención psicosocial (Bobbitt-Zeher, 2011). De esto surgen los resultados que evidencian que, según el modelo, a mayor número de horas laboradas al día, menor percepción de interferencia auditiva y mayor agotamiento en las mujeres que tienen hijos.

Otros estudios también indican discrepancias importantes en cuanto al género, con cifras diferenciadas en el agotamiento emocional y las afecciones de la voz y musculoesqueléticas (Fernández-Puig, Longás, Chamarro y Virgili, 2015; Bermúdez de Alvear, Martínez-Arquero, Barón y Hernández-Mendo, 2010; Erick y Smith, 2011). Esto se confirma con los resultados registrados, según los cuales las horas trabajadas al día son predictoras importantes del estrés laboral, lo que sugiere un impacto significativo de la jornada laboral en la salud docente. De acuerdo con González (2008), esto conlleva la aparición de síntomas depresivos, ansiedad e insomnio.

[...] diversos factores ambientales pueden generar un gran impacto en la vida de los individuos, demostrándose que algunas características del diseño (como la distribución de los muebles, las ventanas, el tamaño de los espacios, los colores) hasta los aspectos físicos (como la temperatura, el clima y las estaciones del año), pueden incidir en diferentes aspectos, desde el comportamiento general de quienes se desenvuelven en los diferentes ambientes mencionados, hasta en la salud física, psicológica y social de los individuos. (p. 4)

En cuanto a la salud mental general del docente, la mayoría de las investigaciones la relacionan con factores diferentes al confort visual, térmico y auditivo de las aulas; por esto, son significativos los resultados de este estudio. Incluso, la norma de calidad se refiere solo de manera explícita a los estudiantes, con lo que olvida el impacto en los profesores. Tampoco considera que existen evidencias que respaldan la relación entre las condiciones laborales, la salud y el bienestar de los docentes, las cuales permiten vislumbrar que no es el oficio lo que genera la enfermedad, sino las condiciones en las que este se ejerce, aspectos que se denominan factores de riesgo (Van der Doef y Maes, 1999).

Otro indicador para seguir investigando es el aumento diario de los indicadores de enfermedad laboral en los docentes en tres grandes campos: la salud física (trastornos musculoesqueléticos y disfonías); la salud mental (trastornos depresivos y de ansiedad); y el malestar o bienestar psicológico relacionado con el agotamiento emocional, el síndrome del desgaste profesional, la insatisfacción laboral o el bajo compromiso. Esto se puede conectar con las características acústicas inapropiadas en el aula, que resultan esenciales, dado que no garantizan condiciones óptimas, pero sí producen un desgaste de la voz (disfonía). También es posible que produzcan niveles más elevados de fatiga y molestia, así como menos paciencia. En este sentido, el ruido es una de las fuentes de estrés más importantes (Folkman, Lazarus, Gruen y DeLongis, 1986).

Cabe señalar, además, que el estrés crónico se presenta principalmente en las profesiones asociadas con las relaciones interpersonales de ayuda (Fernández-Puig, Longás, Chamarro y Virgili, 2015). Según Matud, García y Matud (2006), uno de los factores primordiales para identificar el estrés laboral tiene que ver con el vínculo con las emociones. Este se puede manifestar con síntomas depresivos, ansiedad e insomnio, mientras que el estrés relacionado con factores generales se asocia con molestias gastrointestinales, vértigo, calambres, sofoco y palpitaciones.

Como se indicó, existen estudios que demuestran que el estrés crónico o distrés suele ser la causa principal de la pérdida de la salud docente (Sánchez y Martínez, 2014; Moyano y Riaño-Hernández, 2013). Frente a esto, cabe recordar que este modelo fue el que presentó el mayor nivel de variabilidad, con un AdjR² de 55,60 % (tabla 7.12), lo que confirma el peso significativo que tiene del estrés laboral en el bienestar de los profesores.

Sánchez y Martínez (2014) encontraron que el distrés fue el trastorno de mayor prevalencia en su investigación y que quienes lo padecen tienen mayor

probabilidad de presentar al menos ocho de diez afecciones: ansiedad, depresión, trastornos musculoesqueléticos, del sueño y digestivos, disfonía, fatiga, lumbalgia, cefalea tensional o fatiga neurovisual.

Recomendaciones a la Norma Técnica Colombiana 4595

En el ámbito visual, el registro de los datos de iluminancia sobre el plano de trabajo durante la aplicación de los test psicológicos, así como de las encuestas de percepción y preferencia térmica y lumínica, evidenció que en Medellín están los niveles más bajos. En un alto porcentaje, estos se ubican por debajo de los 300 lux recomendados por la primera edición de la NTC 4595. Sin embargo, la mayoría de los niños manifestaron que el nivel lumínico era suficiente, incluso en porcentajes similares a los de Cali y Bogotá, donde el nivel registrado fue mayor.

Desde el punto de vista térmico, a pesar de las diferencias de temperatura de las tres ciudades, la percepción sobre esta tuvo un comportamiento similar: en todos los casos, la mayoría de los niños reportan estar satisfechos con el ambiente térmico. Expresaron mayor *discomfort* por calor en el 2017 y *discomfort* por frío en el 2018. Lo anterior tiene una relación razonablemente alta con el cálculo del desempeño térmico de los salones con el modelo adaptativo. No obstante, se resalta que en las preferencias de los estudiantes se marcan algunas diferencias asociadas, por ejemplo, con el deseo de ambientes más fríos en el 2017 —alrededor del 30 % en las tres ciudades—, de mayor ventilación en el 2017 en Bogotá, de ambientes más fríos en el 2018 en Medellín —a pesar de que se evidenció mayor *discomfort* por frío que por calor—, entre otros. Esto amerita profundizar el conocimiento sobre este aspecto en futuras investigaciones.

El TR de las aulas en las ciudades de Cali, Bogotá y Medellín se evaluó con el estándar ISO 3382 (International Organization for Standardization, 2009). Se determinó que algunas de estas cumplen con un TR inferior a 1,0 segundos, en especial en Bogotá; en Medellín y Cali, la mayoría cuenta con uno superior a 1,0 segundos. Es importante resaltar que cuatro de las aulas evaluadas superan los 1,5 segundos (una en Medellín y tres en Bogotá). Esto puede constituir en una línea de profundización que involucre los entornos acústicos exteriores y las características socioculturales de la población.

Las recomendaciones arquitectónicas de la norma para garantizar la comodidad visual y térmica se definen a partir de la zonificación climática, la cual, a pesar

de haber variado de la primera a la segunda edición, establece criterios para cuatro áreas. Esta división es confusa en los casos de Cali y Medellín, ciudades que pueden estar en dos zonas a la vez. Por ejemplo, según su altitud, Cali se encuentra en la clasificación del clima templado —similar a Medellín—; sin embargo, por su temperatura y humedad, correspondería a la del cálido húmedo. Si no se garantizan criterios claros para la escogencia de la zonificación, no será posible garantizar la correcta aplicación de la norma.

En relación con la comodidad visual, se resaltan varias dificultades e incoherencias en la norma. Por un lado, el capítulo sobre esta tiene una motivación desde la eficiencia energética: “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 luz artificial” (Ministerio de Educación Nacional, 2016). Esto evidencia que todos los lineamientos están orientados a garantizar niveles lumínicos supuestamente adecuados, lo cual deja de lado aspectos fundamentales de la comodidad visual, como la probabilidad de deslumbramiento.

El deslumbramiento, definido como la sensación de incomodidad producida por brillos en el campo visual con una magnitud mayor a la que se puede adaptar el sistema, no está considerado en la norma. A pesar de esto, en este ejercicio de investigación fue evidente que la iluminancia vertical medida a la altura de los ojos es importante para explicar el rendimiento académico de los estudiantes. En Bogotá, por ejemplo, se registraron los valores de iluminancia vertical más altos. Esto podría explicarse a partir de la aplicación de la norma, puesto que, de acuerdo con esta, para esta ciudad no se requiere tanto control solar en la fachada. Así, es fundamental que la actualización de la normativa contemple el control solar no solo desde el aspecto térmico, sino también desde el visual, y que se haga referencia al control del deslumbramiento.

Por otra parte, el trabajo demostró que, en la mayoría de los salones evaluados, la iluminación artificial permanecía encendida todo el tiempo. Esto desvirtúa las intenciones de la norma, dado que podría interpretarse que, si se encienden las luces, es porque no hay suficiente luz natural para desarrollar las actividades típicas. Por tanto, es evidente que los lineamientos para el aprovechamiento de la luz natural se deben revisar y ajustar. En este sentido:

- Se debe considerar la interacción de los usuarios con el espacio, de manera que se incluyan pautas para minimizar el uso de la luz artificial, de acuerdo con sus costumbres y con su relación con esta.

- Se deben incluir lineamientos para la iluminación de los espacios de transición entre el exterior y las aulas, con el fin de establecer criterios para que el sistema visual se adapte a menores niveles lumínicos antes de entrar en los salones.
- Además de ayudar a controlar el deslumbramiento, la iluminancia vertical medida a la altura de los ojos es una métrica que se podría implementar para estimar los niveles lumínicos mínimos que garanticen la supresión de la melatonina, con el propósito de posibilitar a los estudiantes estar más activos en la clase y ajustarse a los ciclos circadianos. En relación con esto, la versión actual de la norma no hace ninguna consideración.
- El tipo de luminarias se debe agregar como un lineamiento, puesto que, más allá de la garantía de los niveles lumínicos, es importante controlar los índices de reproducción del color para facilitar las actividades de lectoescritura.

Por último, además de la adaptación, en el ámbito visual es necesario insistir en la ocupación de los espacios. Se tienen que garantizar los niveles lumínicos mínimos recomendados, independientemente de la ocupación de los espacios y de los colores de la ropa de los ocupantes. Aun cuando permanecieron encendidas las luminarias de casi todos los salones evaluados en esta investigación, en varias ocasiones los niveles lumínicos registrados fueron menores a los 500 lux establecidos por la normativa.

Sobre lo establecido en el apartado de la comodidad térmica de la NTC 4595 hay varias cosas por mencionar: el análisis del confort térmico con el modelo analítico y adaptativo arrojó que la mayoría de los niños en las tres ciudades se encontraron en estado de confort, a pesar de que los porcentajes (alrededor del 50 %) no alcanzaron los recomendados por la norma.

Frente a lo indefinido de la aceptabilidad térmica, se recurrió a complementar el análisis con los rangos de confort recomendados por la NTC 5316 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2004). La mayoría de los estudiantes manifestaron sentirse cómodos, aun cuando las temperaturas operativas excedían las recomendadas, lo que demuestra su adaptación a las condiciones de cada ciudad, aun cuando estas no fueran óptimas.

La NTC 4595 carece de definiciones concretas sobre las temperaturas ambiente, operativa y efectiva a alcanzar como objetivos en las aulas y sobre la humedad relativa, la ventilación y la temperatura media radiante. Tampoco determina los métodos para definir el porcentaje de las personas satisfechas en el espacio.

En el caso del confort térmico, cuando se recurre a la NTC 5316 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2004), esta resulta una traducción de la norma internacional ASHRAE 55 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004), la cual fue diseñada para otros contextos en situación estacionaria y para la población adulta principalmente.

Ante este panorama, se llama la atención sobre la urgencia de repensar y actualizar de manera contundente el capítulo de la comodidad térmica de la NTC 4595, de modo que se incluyan parámetros claros y eficientes y se establezcan criterios propios para que tanto los niños como los adultos se encuentren en confort.

Por otro lado, es necesario que la norma considere a todos los actores en el proceso de enseñanza-aprendizaje, dado que se refiere solo de manera explícita a los estudiantes, con lo cual olvida el impacto en el rol docente.

De acuerdo con lo establecido en el apartado de la comodidad sonora, algunas aulas analizadas no cumplen con el TR. Además, el criterio abordado en la NTC 4595 no corresponde con el indicador del ruido medible para establecer los niveles de ruido de fondo. La norma evalúa este a partir de los niveles de intensidad sonora, cuyo indicador no es apropiado para la valoración del ruido de fondo porque se usa para otros fines, como la caracterización acústica de fuentes de ruido, y no es medible de modo directo.

La intensidad acústica o sonora, definida como la potencia acústica por unidad de área, es un indicador con magnitud y dirección que difiere del nivel de presión sonora, el cual es el adecuado para la valoración del nivel de ruido de fondo. Según lo anterior, este nivel, descrito desde los niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados en frecuencia A, está por encima de los 45 dBA, criterio tomado del *Building Bulletin 93* (Department for Education and Skills, 2003) para las aulas reformadas. En caso de considerar el criterio más restrictivo de esta guía, la diferencia entre los niveles de ruido será mayor, dado que se define que debe ser menor a 40 dB en construcciones nuevas. Está claro que las fuentes de ruido externas a las aulas son factores ambientales determinantes que no propician los niveles adecuados para el desarrollo de actividades de docencia y educación. Por consiguiente, en los aspectos del componente auditivo:

- Se debe corregir el indicador del ruido de fondo en la NTC 4595, puesto que en el ámbito mundial este se evalúa a través del nivel de presión sonora

continua equivalente ponderado en frecuencia A. El termino intensidad corresponde a otro indicador de ruido, asociado con la caracterización de fuentes de ruido.

- Los valores límites permisibles al interior de los espacios escolares deben tender a las recomendaciones de expertos y asociaciones internacionales, como la Organización Mundial de la Salud. De igual forma, como se ha descrito, la guía del Department for Education and Skills (2003) es un punto de partida que recopila necesidades para el diseño y la construcción de recintos escolares. Estas consideraciones disminuirán los efectos sobre el rendimiento cognitivo del estudiante, porque en el estudio actual se superan los valores de las variables acústicas evaluadas.
- La NTC se debe reformar y reestructurar en cuanto al confort auditivo. Es necesario enfocar este apartado con la rigurosidad técnica abordada en estudios internacionales para asegurar espacios con alta inteligibilidad del habla en conjunto con las demás variables ambientales.

Con este trabajo se llama la atención sobre la urgencia de actualizar la normativa, de manera que valore, como mínimo, aspectos relacionados con el modelo pedagógico y delimite correctamente los tipos de clima, como el principal aspecto que define las recomendaciones de diseño de las aulas a lo largo del documento.

Por último, la NTC 4595 requiere una revisión profunda de las recomendaciones de comodidad visual, térmica y sonora, con base en las condiciones de iluminación, temperatura y sonido de las ciudades del país, diferentes a las de otros contextos en situación estacional. Estas recomendaciones deben garantizar el confort tanto de los estudiantes como de los docentes, con una mirada que los considere a ambos como actores fundamentales del proceso de enseñanza-aprendizaje en las aulas.

Capítulo 9

Conclusiones y consideraciones finales

Generales

En los planes de desarrollo de los municipios de Colombia se propone potenciar la educación básica y media, mediante el mejoramiento de los servicios y de la infraestructura, de modo que se garantice la consecución de los más altos estándares de calidad, lo cual se evidencia con el logro de las competencias básicas de aprendizaje de los estudiantes, independientemente de sus condiciones socioeconómicas y culturales. Diversos factores individuales, ambientales y de interacción pueden facilitar o interferir en el cumplimiento de este objetivo. Uno de estos elementos de interés actual es la infraestructura física, que incluye los servicios, equipamiento e instalaciones orientados a simplificar las tareas educativas y contribuir al ambiente de aprendizaje. En la edificación escolar y, de manera concreta, en el concepto del aula abordado histórica y formalmente en los ámbitos nacional e internacional se ha tenido una organización trabajada sobre la base ortogonal y el amoblamiento de filas ubicadas hacia el maestro, lo cual se demostró en la presente investigación. Así, la comodidad de los docentes y estudiantes se determina por las condiciones físicas y espaciales del salón de clases.

El diseño de las aulas siempre ha poseído ese sentido de trabajo, por efectos de la composición espacial, el sentido del control, la circulación, la iluminación, la accesibilidad, la modulación constructiva, técnica y estructural, etc. Esta disposición tradicional obedece —o ha obedecido— al manejo de un modelo pedagógico y de una política pública establecida en cada administración. Las formas experimentales de agrupamiento y disposición del espacio escolar han sido poco exploradas y esto conllevaría un estudio más profundo de las condiciones de la NTC 4595, referido a la concepción arquitectónica, las nociones espaciales de agrupamiento, las circulaciones y el trabajo interno en el aula de los profesores y estudiantes con alternativas que mejoren la relación enseñanza-aprendizaje.

El aprendizaje es progresivo, lo cual implica un proceso de apropiación de conocimientos que pueden transformar la forma de pensar y actuar de las personas. Las condiciones para que esto suceda están influidas por diversos factores, como los físico-ambientales del aula, los recursos disponibles, el clima psicológico que involucra la actitud de los actores, la relación docente-alumno, así como el modelo pedagógico. Su interacción promueve estímulos, experiencias

e influencias que intervienen en el desarrollo integral de los estudiantes. Las aulas escolares son espacios de enseñanza-aprendizaje que constituyen una herramienta sustancial que beneficia la labor educativa. Además, en estas, los procesos cognitivos (atención, pensamiento y memoria) resultan básicos para el aprendizaje.

Factores ambientales y de confort en el aula, como las condiciones lumínicas, térmicas y acústicas, pueden afectar el rendimiento cognitivo de los estudiantes y la salud mental de los docentes. Circunstancias incómodas expresadas con altas o bajas temperaturas, poca luminosidad, altos contrastes o sonidos que dificulten la inteligibilidad del discurso y la conversación en la clase están en el día a día de la labor académica, lo cual altera la atención y el desarrollo de las actividades de aprendizaje e incrementa la fatiga y el estrés de los profesores. No obstante, es infrecuente encontrar estudios que integren diferentes disciplinas para abordar y comprender de modo más integral las implicaciones de la comodidad en las aulas de educación básica.

En este sentido, el presente estudio se centró en la identificación de diversos factores ambientales (auditivos, térmicos y visuales) relevantes para los espacios educativos, con el fin de determinar su importancia en función de los efectos negativos que pueden tener sobre el rendimiento cognitivo de los estudiantes y la salud docente. Además, se evaluó la pertinencia de la NTC 4595, que define las recomendaciones para la construcción de espacios educativos, desde los puntos de vista técnico, conceptual y de eficacia para garantizar las condiciones óptimas de la actividad que allí se realiza.

Se han desarrollado múltiples investigaciones sobre el impacto que tienen las condiciones ambientales de los centros educativos en el rendimiento de los estudiantes y en la labor de los docentes. El aula no solo es el entorno de trabajo de ambos grupos, además, es un espacio con ocupación alta y prolongada durante el día, por tanto, debe propiciar la atención, la receptividad y la productividad. Sin embargo, hasta ahora, ningún estudio había correlacionado el desempeño ambiental del aula y la percepción de los ocupantes con el rendimiento cognitivo de los estudiantes y la salud mental de los docentes, a la luz de los lineamientos de la NTC 4595.

Del diseño metodológico

El objetivo general de esta investigación abarcó un estudio profundo y riguroso a partir del cual se encontraron resultados que dan luces sobre la necesidad de

generar documentos normativos más específicos para aportar a la construcción de ambientes académicos que potencien los procesos de enseñanza-aprendizaje y tengan impactos positivos en todos los actores que participan en ellos.

Para el desarrollo del trabajo y la consecución de los resultados fue fundamental mantener una mirada amplia desde la interacción de diferentes disciplinas, como la arquitectura, la bioclimática, la psicología y la ingeniería de sonido. Esto produjo conocimientos integrados que tienen una mayor relación con la realidad y, por ende, una alta aplicabilidad en el contexto nacional. Asimismo, el uso interdisciplinario de un grupo de instrumentos comúnmente empleados en estas disciplinas favoreció los hallazgos diferenciados y complejos. Es importante indicar que el diseño metodológico mixto (información objetiva y subjetiva) genera un alto nivel de flexibilidad, puesto que puede aplicarse a otros contextos y marcos normativos. Este aspecto permite que el estudio se pueda llevar a otros colegios, ciudades e, incluso, países para correlacionar los resultados y generar conclusiones en diferentes niveles.

El análisis de antecedentes para afrontar el problema de la investigación enriqueció la formulación metodológica, dado que ayudó a concatenar herramientas, técnicas y abordajes de distintas áreas del saber, con el fin de obtener resultados confiables a los cuales no había acercamientos en el país. Además, esto generó una discusión interesante frente a los aportes de otros estudios.

En este tipo de investigación, que englobó diferentes contextos culturales y geográficos y contó con la participación de personas con visiones heterogéneas, fue primordial que todos los procedimientos resultaran de una rigurosa planeación y pasaran por pruebas, con el propósito de validar su pertinencia. Por tanto, los instrumentos utilizados se diseñaron o acoplaron para evitar al máximo los errores sistemáticos en su aplicación.

En el desarrollo del trabajo se identificaron dificultades o situaciones para tener en cuenta en futuras aplicaciones de la metodología. Al evaluar el nivel de atención de los niños, es importante eludir todas las circunstancias que puedan distraerlos. En esta línea, fue necesario invertir un tiempo importante antes de iniciar cada campaña de medición para sensibilizar a los niños con los equipos. De esta forma, se minimizó su curiosidad frente a los elementos diferentes a las pruebas psicológicas y de percepción. Por otra parte, en las mediciones de iluminancia vertical y horizontal en cada niño no hubo bloqueos de la iluminación incidente ni interrupciones en la aplicación de las pruebas por parte de la persona que tomó los datos.

De la Norma Técnica Colombiana 4595

La NTC 4595 nació como un instrumento para atender las variables de la comodidad. Se entiende que el correcto diseño del espacio educativo debe favorecer las condiciones para que la actividad de enseñanza-aprendizaje se desarrolle sin perturbaciones, molestias ni daños fisiológicos; sin alterar ni agravar las condiciones de confort que se requieren. El entorno y el diseño del edificio son fundamentales y los principios de equilibrio bioclimáticos —entre el clima y la vida—, así como los de eficiencia energético-ambiental, son requerimientos esenciales, aplicables en los establecimientos educativos.

Como primera observación a la NTC 4595, se resalta la necesidad de brindar una clasificación climática más amplia, que no solo tenga en cuenta aspectos térmicos, como la temperatura y la humedad relativa, sino también lumínicos, como la frecuencia de ocurrencia de los diferentes tipos de cielo, la disponibilidad de la luz natural, la radiación solar directa, las corrientes de vientos, las caracterizaciones del ruido de fondo, entre otros, con los cuales se pueden plantear lineamientos específicos para cada región.

También se observó una deficiencia representativa en la contemplación de la norma, puesto que no presenta ninguna recomendación para alcanzar los niveles de comodidad en función del número de personas insatisfechas o de algún otro índice usado en la bibliografía. Asimismo, tiene inconsistencias en los abordajes de los componentes: en el ámbito auditivo propone objetivos claros que se deben cumplir en los espacios, de acuerdo con el tiempo de reverberación y el nivel de presión sonora adecuados; sin embargo, en los ítems sobre la comodidad térmica y visual las recomendaciones son arquitectónicas o constructivas; por tanto, no se definen objetivos ambientales claros para las variables de iluminancia horizontal y vertical, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, entre otras. Este es un factor esencial para tener en cuenta en una futura actualización de la normativa, porque es necesario establecer propósitos claros en cuanto a las condiciones ambientales que apunten a la construcción de aulas con altos niveles de comodidad para todos sus ocupantes.

Además, la NTC 4595 no establece lineamientos conjuntos de los componentes para aplicar estrategias que brinden soluciones holísticas al proyecto; por el contrario, dentro de cada uno, define una serie de condiciones a cumplir —de acuerdo con la caracterización climática—, que muchas veces van en contra de los objetivos de los demás componentes ambientales.

Por otro lado, es necesario apuntar que la norma actual no discrimina sus recomendaciones según la edad de los actores de las aulas, aunque se planteó para regular los espacios donde interactúan niños de todas las edades escolares y adultos con el rol docente. Es importante que se proponga pensar la comodidad desde diferentes rangos etarios para que se puedan incluir reflexiones sobre la talla, el peso, los procesos de desarrollo físico y mental, la percepción, entre otros.

Otra conclusión a la que se llegó con esta investigación fue que si bien la normativa debería asegurar un buen funcionamiento de la edificación escolar en función de las necesidades de sus usuarios, para permitir que las condiciones se mantengan se tienen que definir estrategias y lineamientos sobre la distribución del mobiliario, el tipo de vestimenta de los estudiantes, la cantidad máxima de ocupantes de los espacios, entre otros, que son exclusivos del uso de la edificación, dado que estos también afectan las condiciones ambientales de las aulas. Por lo tanto, garantizar que las aulas tengan adecuados niveles de comodidad no solo es responsabilidad del proyectista, sino también de sus usuarios y los actores institucionales, quienes tienen parte activa en este compromiso.

Componente térmico

La NTC 4595 carece de definiciones concretas sobre las temperaturas del ambiente, operativa o efectiva a alcanzar como objetivo en las aulas. Tampoco tiene definiciones sobre la humedad relativa, la ventilación, la temperatura media radiante ni los métodos para determinar el porcentaje de personas satisfechas en el espacio.

Una de las conclusiones fundamentales fue que en la consecución de la comodidad no solo intervienen fenómenos de termorregulación en el cuerpo, sino también el acostumbamiento a las condiciones climáticas específicas de una localidad, como elemento sustancial. Esto se evidenció, por ejemplo, en la similitud de las respuestas de percepción y preferencia térmica halladas en las tres ciudades.

Componente visual

La NTC 4595 está orientada a garantizar niveles lumínicos supuestamente adecuados; no obstante, estos se tomaron de otros documentos normativos que propenden a la eficiencia energética de los sistemas de iluminación artificial, lo cual deja de lado aspectos primordiales de la comodidad visual, como la probabilidad de deslumbramiento.

Resulta fundamental que la actualización de la normativa contemple el control solar no solo desde el punto de vista térmico, sino desde sus consecuencias visuales y lumínicas sobre el espacio, en relación con el control del deslumbramiento. Asimismo, se deben incluir lineamientos para garantizar niveles de iluminación adecuados, de acuerdo con el grado de acostumbramiento de los usuarios, los colores de la ropa de los ocupantes, los muebles y la materialidad, entre otros.

También es importante añadir pautas que permitan que el sistema visual se adapte de forma apropiada a los cambios de los niveles lumínicos que de manera usual se presentan entre un espacio y otro, en especial antes de entrar a las aulas.

Además de ser una métrica que se podría usar para controlar el deslumbramiento, la iluminancia vertical medida a la altura de los ojos se puede implementar para estimar los mínimos niveles lumínicos que garantizan la supresión de la melatonina, lo cual posibilita a los estudiantes estar más activos en la clase y ajustarse a los ciclos circadianos. En relación con esto, la versión actual de la norma no hace ninguna consideración.

Por otra parte, se debería agregar como un lineamiento el tipo de luminarias, puesto que, más allá de la garantía de los niveles lumínicos, es importante controlar los índices de reproducción del color para facilitar la realización de las actividades de lectoescritura.

Por último, además de la adaptación, se tiene que insistir en la ocupación de los espacios. Se deben garantizar los niveles lumínicos mínimos recomendados, independientemente de la ocupación y de los colores de la ropa de los ocupantes. Aun cuando permanecieron encendidas las luminarias de casi todos los salones evaluados en esta investigación, en varias ocasiones los niveles lumínicos registrados fueron menores a los 500 lux establecidos por la normativa.

Componente auditivo

La NTC 4595 aborda la evaluación del ruido de fondo a partir de los niveles de intensidad sonora, cuyo indicador no es apropiado para su valoración, dado que se usa para otros fines, como la caracterización acústica de fuentes de ruido, y no es medible de modo directo. La intensidad acústica o sonora, definida como la potencia acústica por unidad de área, es un indicador con magnitud y dirección que difiere del nivel de presión sonora, el cual es adecuado para valorar el nivel de ruido de fondo. En consecuencia, este indicador se debe corregir en la norma, debido a que en el ámbito mundial se evalúa con el nivel de presión sonora continua equivalente ponderado en frecuencia A.

Los valores límite permisibles en los espacios escolares deben seguir las recomendaciones de los expertos y asociaciones internacionales, como la Organización Mundial de la Salud. La guía del Department for Education and Skills británico (2003) es un punto de partida que recopila necesidades para el diseño y la construcción de recintos escolares. Estas consideraciones disminuirían los efectos sobre el rendimiento cognitivo del estudiante, porque en el estudio actual se superan los valores de las variables acústicas evaluadas.

Además, es necesario que la norma considere recomendaciones sobre el aislamiento acústico de las aulas, con base en el nivel de porosidad que, por lo general, tiene la arquitectura tropical y teniendo en cuenta la posibilidad de que las fuentes externas de ruido nocivo aumenten.

Referencias

Las siguientes referencias están agrupadas por temas para mayor claridad del lector.

Comodidad térmica

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2004). *Standard 55-2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Recuperado de http://fh.almas-hvac.ir/download/ASHRAE_Thermal_Comfort_Standard.pdf
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2005). *Handbook of Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2010). *Standard 55-2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Recuperado de <http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ASHRAE-55-2010.pdf>
- Auliciems, A. (1981). Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception. *International Journal of Biometeorology*, 25 (2), 109-122.
- Bedford, T. (1946). Environmental Warmth and its Measurement. *Academic Medicine*, 21 (5), 319.
- Bernardi, N. y Kowaltowski, D. C. (2006). Environmental Comfort in School Buildings: A Case Study of Awareness and Participation of Users. *Environment and Behavior*, 38 (2), 155-172.
- Busch, J. F. (1995). 11 Thermal Comfort in Thai Air-Conditioned and Naturally Ventilated Offices. *Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century*, 114.
- Cengel, Y. y Boles M. (2006). *Termodinámica*. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.

- De Dear, R. y Brager, G. S. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. *ASHRAE Transactions*, 104 (1) 145-167.
- De Dear, R., Brager, G. S., Reardon, J. y Nicol, F. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference/Discussion. *ASHRAE Transactions*, 104, 145-167.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Faustman, E. M., Silbernagel, S. M., Fenske, R. A., Burbacher, T. M. y Ponce, R. A. (2000). Mechanisms Underlying Children's Susceptibility to Environmental Toxicants. *Environmental Health Perspectives*, 108 (1), 13-21.
- Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez Morales, G. y Ruiz Torres, R. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa*, 2 (1), 44-57.
- González, E. y Bravo, G. (2001). *Toward Appropriate Comfort Temperatures to the Hot and Humid Climatic Conditions*. Ponencia presentada en 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA), Florianópolis, Brasil.
- González, R. R., Nishi, Y. y Gagge, A. P. (1974). Experimental Evaluation of Standard Effective Temperature a New Biometeorological Index of Man's Thermal Discomfort. *International Journal of Biometeorology*, 18 (1), 1-15.
- Goto, T., Toftum, J., De Dear, R. y Fanger, P. O. (2002). Thermal Sensation and Comfort with Transient Metabolic Rates. *Indoor Air*, 1, 1038-1043.
- Haghighat, F. y Donnini, G. (1999). Impact of Psycho-Social Factors on Perception of the Indoor Air Environment Studies in 12 Office Buildings. *Building and Environment*, 34 (4), 479-503.
- Houghton, F. C. y Miller, W. E. (1925). Effective Temperature with Clothing. *ASHRAE Transactions*, 29.
- Humphreys, M. A. (1977). A Study of the Thermal Comfort of Primary School Children in Summer. *Building and Environment*, 12 (4), 231-239.
- Humphreys, R. M. (1994). An Adaptive Approach to the Thermal Comfort of Office Workers in North West Pakistan. *Renewable Energy*, 5 (5-8), 985-992.
- Humphreys, M. A. (1995). Thermal Comfort Temperatures and the Habits of Hobbits. *Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century*, 3-13.

- Humphreys, M. y Nicol, J. F. (1998). Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort. *ASHRAE Transactions*, 104, 991-1004.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2004). *Norma Técnica Colombiana 5316*. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5316.pdf>
- International Organization for Standardization. (2005). ISO 7730. Recuperado de <https://www.sis.se/api/document/preview/907006/>
- Jiang, J., Wang, D., Liu, Y., Xu, Y. y Liu, J. (2018). A study on Pupils' Learning Performance and Thermal Comfort of Primary Schools in China. *Building and Environment*, 134, 102-113.
- Kim, J. y De Dear, R. (2018). Thermal Comfort Expectations and Adaptive Behavioural Characteristics of Primary and Secondary School Students. *Building and Environment*, 127, 13-22.
- Kwok, A. G. y Chun, C. (2003). Thermal Comfort in Japanese Schools. *Solar Energy*, 74 (3), 245-252.
- Nicol, F. (2004). Adaptive Thermal Comfort Standards in the Hot-Humid Tropics. *Energy and Buildings*, 36 (7), 628-637.
- Nicol, F., Humphreys, M. y Roaf, S. (2015). *Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis*. Londres: Routledge.
- Olesen, B. W. y Parsons, K. C. (2002). Introduction to Thermal Comfort Standards and to the Proposed New Version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings*, 34 (6), 537-548.
- Oseland, N. A. (1995). Predicted and Reported Thermal Sensation in Climate Chambers, Offices and Homes. *Energy and Buildings*, 23 (2), 105-115.
- Parsons, K. C. (2002). The Effects of Gender, Acclimation State, the Opportunity to Adjust Clothing and Physical Disability on Requirements for Thermal Comfort. *Energy and Buildings*, 34 (6), 593-599.
- Pepler, R. y Warner R. (1968). Temperature and Learning: An Experimental Study. Paper N.º 2089. *Transactions of ASHRAE Annual Meeting*, 1967, 211-219.
- San Juan, G. (2008). *Comportamiento energético-productivo y ambiental de la gestión de redes edilicias de educación. Un enfoque sistémico en el continuo de escalas del hábitat* (tesis de doctorado). Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.

- San Juan, G. y Hoses, S. (2014). *Análisis de la auditoría energética y condiciones de confort en establecimientos educacionales. Proyecto: Cooperación Técnica Regional "Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI" (BID RG-t2011). Informe final: diagnóstico entre países (México, Argentina, Colombia, República Dominicana, Chile y Costa Rica)*. Washington D. C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Shove, E. (2004). Social, Architectural and Environmental Convergence. En K. Steemers y M. A. Steane (eds.). *Environmental Diversity in Architecture* (pp. 19-30). Londres: E. & F. N. Spon.
- Silver, P. y McLean, W. (2008). *Introduction to Architectural Technology*. Londres: Laurence King Publishing.
- Stolwijk, J. A. J. y Hardy, J. D. (1966). Temperature Regulation in Man - A Theoretical Study. *Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 291 (2), 129-162.
- Tablada, A., De la Peña, A. M. y De Troyer, F. (2005). Thermal Comfort of Naturally Ventilated Buildings in Warm-Humid Climates: Field Survey. *Proceedings of Passive Low Energy Architecture (PLEA)*, 191-196.
- Teli, D., Jentsch, M. F. y James, P. A. (2012). Naturally Ventilated Classrooms: An Assessment of Existing Comfort Models for Predicting the Thermal Sensation and Preference of Primary School Children. *Energy and Buildings*, 53, 166-182.
- Ter Mors, S., Hensen, J. L., Loomans, M. G. y Boerstra, A. C. (2011). Adaptive Thermal Comfort in Primary School Classrooms: Creating and Validating PMV-based Comfort Charts. *Building and Environment*, 46 (12), 2454-2461.
- Vanos, J. K. (2015). Children's Health and Vulnerability in Outdoor Microclimates: A Comprehensive Review. *Environment International*, 76, 1-15.
- Wargocki, P. y Wyon, D.P. (2007). The Effects of Moderately Raised Classrooms Temperatures and Classroom Ventilation Rate on the Performance of Schoolwork by Children (RP-1257). *HVAC & Research*, 13 (2), 193-220.
- Wong, N. H. y Khoo, S. S. (2003). Thermal Comfort in Classrooms in the Tropics. *Energy and Buildings*, 35 (4), 337-351.
- Yang, J., Nam, I., Yun, H., Kim, J., Oh, H. J., Lee, D. y Sohn, J. R. (2015). Characteristics of Indoor Air Quality at Urban Elementary Schools in Seoul, Korea: Assessment of Effect of Surrounding Environments. *Atmospheric Pollution Research*, 6 (6), 1113-1122.

Zhang, G., Zheng, C., Yang, W., Zhang, Q. y Moschandreas, D. J. (2007). Thermal Comfort Investigation of Naturally Ventilated Classrooms in a Subtropical Region. *Indoor and Built Environment*, 16(2), 148-158.

Comodidad visual

Arango-Díaz, L. (2011). *Ensaio do método para análise integrada da iluminação natural e da conveniência solar*. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95698?show=full>

Arasteh, D., Selkowitz, S., Apte, J. y LaFrance, M. (2006). *Zero Energy Windows*. Recuperado de https://aceee.org/files/proceedings/2006/data/papers/SS06_Panel3_Paper01.pdf

Asociación Española de Normalización. (2012). *UNE-EN-12665:2012. Iluminación. Términos básicos y criterios para la especificación de los requisitos de alumbrado*. Madrid: AENOR.

Barkmann, C., Wessolowski, N. y Schulte-Markwort, M. (2010). Applicability and Efficacy of Variable Light in Schools. *Journal of Fourier Analysis and Applications*, 16 (5), 748-767.

Baron, R. A., Rea, M. S. y Daniels, S. G. (1992). Effects of Indoor Lighting (Illuminance and Spectral Distribution) on the Performance of Cognitive Tasks and Interpersonal Behaviors: The Potential Mediating Role of Positive Affect. *Motivation and Emotion*, 16 (1), 1-33.

Bellia, L., Fragliasso, F. y Stefanizzi, E. (2017). Daylit Offices: A Comparison Between Measured Parameters Assessing Light Quality and Users' Opinions. *Building and Environment*, 113, 92-106.

Bernardi, N. y Kowaltowski, D. C. C. K. (2006). Environmental Comfort in School Buildings: A Case Study of Awareness and Participation of Users. *Environment and Behavior*, 38 (2), 155-172.

Bucaneg, H. (2008). *Collaborative for High Performance Schools (CHPS): The Process of Mainstreaming Efficiency in Action and the Evolution of CHPS*. Recuperado de https://aceee.org/files/proceedings/2008/data/papers/4_201.pdf

Cachán, C., Carbelo, B., García, M. y Mateo, P. (2012). Estudio sobre la influencia de la iluminación en el rendimiento escolar. *Luces CEI*, (45), 14-17.

- California Energy Commission. (2003a). *Daylighting in Schools: Reanalysis Report*. Recuperado de <https://www.energy.ca.gov/2003publications/CEC-500-2003-082/CEC-500-2003-082-A-03.PDF>
- California Energy Commission. (2003b). *Summary of Daylighting in Schools: Reanalysis Report*. Recuperado de <https://www.energy.ca.gov/2003publications/CEC-500-2003-082/CEC-500-2003-082-A-04.PDF>
- California Energy Commission. (2003c). *Windows and Classrooms: A Study of Student Performance and the Indoor Environment*. Recuperado de <https://www.energy.ca.gov/2003publications/CEC-500-2003-082/CEC-500-2003-082-A-07.PDF>
- California Energy Commission. (2003d). *Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment*. Recuperado de http://h-m-g.com/downloads/Daylighting/A-9_Windows_Offices_2.6.10.pdf
- Crespo, J. y Pino, M. (2007). Description of Environmental Factors in Schools. Lessons from Study in North-West Spain. *Review of Education*, 205-218.
- Dons, E., Van Poppe, M., Panis, L., De Prins, S., Berghmans, P., Koppen, G. et al. (2014). Land Use Regression Models as a Tool for Short, Medium and Long Term Exposure to Traffic Related Air Pollution. *Science of The Total Environment*, 476-477, 378-386.
- Edwards, L. y Torcellini, P. (2002). *A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*. Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/30769.pdf>
- Figueiro, M. G., Rea, M. S., Rea, A. C. y Stevens, R. G. (2002). Daylight and Productivity - A Field Study. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/283327416_Daylight_and_Productivity_-_A_Field_Study
- Fischer, M. y Getis, A. (2010). *Handbook of Applied Spatial Analysis*. Berlín: Springer.
- Heschong Mahone Group. (1999a). *Daylighting in Schools. An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance*. Recuperado de <https://www.pge.com/includes/docs/pdfs/shared/edusafety/training/pec/daylight/SchoolsCondensed820.pdf>
- Heschong Mahone Group. (1999b). *Daylighting in Schools: An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance*. *California Board for Energy Efficiency Third Party Program*, 1999 (1), 140.
- Heschong Mahone Group. (2003). *Appendix of Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment*. Recuperado de http://h-m-g.com/downloads/Daylighting/order_daylighting.htm

- Heschong, L., Wright, R. y Okura, S. (2000). *Daylighting in Schools*. Proceedings of the ACEEE Summer Study on Building Conference, Asilomar.
- IESNA. (2012). *Approved method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. Nueva York: IESNA.
- International Organization for Standardization. (2005). *ISO 8995:2002 (CIE S 008/E-2001). Lighting of Indoor Work Places. Technical Corrigendum 1*. Ginebra: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2006). *ISO 16813:2006. Building Environment Design - Indoor Environment - Generic Principles*. Ginebra: International Organization for Standardization.
- Jakubiec, J. y Reinhart, C. (2011). The 'Adaptive Zone' - A Concept for Assessing Discomfort Glare Throughout Daylit Spaces. *Lighting Research & Technology*, 44 (2), 149-170.
- Jensen, K., Toftum, J. y Friis-Hansen, P. (2009). A Bayesian Network Approach to the Evaluation of Building Design and its Consequences for Employee Performance and Operational Costs. *Building and Environment*, 44 (3), 456-462.
- Korsavi, S. S., Zomorodian, Z. S. y Tahsildoost, M. (2016). Visual Comfort Assessment of Daylit and Sunlit Areas: A Longitudinal Field Survey in Classrooms in Kashan, Iran. *Energy and Buildings*, 128, 305-318.
- Küller, R. y Lindsten, C. (1992). Health and Behavior of Children in Classrooms with and without Windows. *Journal of Environmental Psychology*, 12, 305-317.
- Lamberts, R., Dutra, L. y Pereira, F. (2012). *Eficiência energética na arquitetura* (3.ª ed.). São Paulo: PW.
- Lluch, T. (1999). *Construcción de una escala para evaluar la salud mental positiva* (tesis doctoral). Universidad de Barcelona, Barcelona, España.
- Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N. y Christoffersen, J. (2012). *Daylighting Metrics: Is There a Relation Between Useful Daylight Illuminance and Daylight Glare Probability?* Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/267556994_Daylighting_metrics_is_there_a_relation_between_useful_daylight_illuminance_and_daylight_glare_probability
- Matute, E., Rosselli, M., Ardila, A. y Ostrosky-Solís, F. (2007). *ENI: evaluación neuropsicológica infantil*. Guadalajara: Manual Moderno.
- Menéndez, E. L. (2009). *De sujetos, saberes y estructuras: introducción al enfoque relacional en el estudio de la salud colectiva*. Buenos Aires: Lugar.

- Michael, A. y Heracleous, C. (2017). Assessment of Natural Lighting Performance and Visual Comfort of Educational Architecture in Southern Europe: The Case of Typical Educational School Premises in Cyprus. *Energy and Buildings*, 140, 443-457.
- Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Norma Técnica Colombiana 4595. Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares* (2.^a ed.). Bogotá, D. C.: Ministerio de Educación Nacional.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Retilap. Anexo general. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Bogotá, D. C.: Ministerio de Minas y Energía.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (10 de julio del 2015). [Resolución 0549 del 2015]. Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>
- Moreno, M. B. P. y Labarca, C. Y. (2015). Methodology for Assessing Daylighting Design Strategies in Classroom with a Climate-Based Method. *Sustainability*, 7 (1), 880-897.
- Murillo, F. J. y Martínez-Garrido, C. (2012). Las condiciones ambientales en las aulas de primaria en Iberoamérica y su relación con el desempeño académico. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 20 (18), 22.
- Nabil, A. y Mardaljevic, J. (2006). Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. *Energy and Buildings*, 38 (7), 905-913.
- Nickas, M. y Bailey, G. (1997). Analysis of the Performance of Students in Daylit. *Proceedings of the American Solar Energy Society*.
- Piderit, B. y Bodart, M. (2012). *Design Strategies Applied to Classroom's Daylight Design Optimization of Classrooms Design*. Documento presentado en PLEA 2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an Environmentally Responsible Architecture, Lima, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2078.1/145792>
- Piderit, M. B., Díaz, M., Trebilcock, M., Guzmán, F. y Muñoz, C. (2013). The integral classroom. Design strategies for improved overall environmental performance. Documento presentado en PLEA 2013 Munich: Sustainable Architecture for a Renewable Future, Múnich, Alemania.
- Pierson, C., Piderit, M. B., Wienold, J. y Bodart, M. (2017). *Discomfort Glare from Daylighting: Influence of Culture on Discomfort Glare Perception*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Clotilde_Pierson2/publication/320710841_Discomfort_glare_from_daylighting_influence_of_culture_on_discomfort_glare_perception/links/59f6fec2aca272607e2be3c9/Discomfort-glare-from-daylighting-influence-of-culture-on-discomfort-glare-perception.pdf

- Plympton, P., Conway, S. y Epstein, K. (2000). *Daylighting in Schools: Improving Student Performance and Health at a Price Schools Can Afford*. Documento presentado en la American Solar Energy Society Conference, Madison, Estados Unidos.
- Rea, S. (2000). *The IESNA Lighting Handbook*. Nueva York: IESNA.
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. y Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 3 (1), 1-25.
- Roenneberg, T., Allebrandt, K. V., Mellow, M. y Vetter, C. (2012). Social Jetlag and Obesity. *Current Biology*, 939-943.
- Shader, R. (1968). *The Symptom Checklist for Measuring Mental Health: A Methodological Study*. Tallahassee: Florida State University.
- Shemirani, S. M., Memarian, G. H., Naseri, S. P., Nejad, H. H. y Vaziri, V. (2011). Investigating the Behaviors of the Elementary School Students in Reference to Factors Associated with Daylight. *Asian Social Science*, 7 (11).
- Shishegar, N. y Boubekri, M. (2016). Natural Light and Productivity: Analyzing the Impacts of Daylighting on Students' and Workers' Health and Alertness. *International Journal of Advances in Chemical Engineering and Biological Sciences*, 3 (1), 1-6.
- Silva, A. D., Imhoff, S., Giarola, N. F. B. y Tormena, C. A. (2001). Análisis multivariado y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos del centro de Santa Fe. *Edafología*, 8 (1), 21-34.
- Trebilcock Kelly, M., Soto Muñoz, J., Figueroa San Martín, R. y Piderit-Moreno, B. (2016). Metodología para el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes. *Revista AUS*, (20), 70-76.
- Van Den Wymelenberg, K. e Inanici, M. (2014). A Critical Investigation of Common Lighting Design Metrics for Predicting Human Visual Comfort in Offices with Daylight. *Leukos - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 10 (3), 145-164.
- Webster, R. y Oliver, M. (2001). *Geostatistics for environmental scientists*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- Wienold, J. (2010). *Daylight Glare in Office*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Yong, J., Schiler, M. y Kensek, K. (2017). Investigation of Existing Discomfort Glare Indices Using Human Subject Study Data. *Building and Environment*, 113, 121-130.

Zomorodian, Z. S. y Tahsildoost, M. (2017). Assessment of Window Performance in Classrooms by Long Term Spatial Comfort Metrics. *Energy and Buildings*, 134, 80-93.

Comodidad auditiva

Acoustical Society of America. (2010). *ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools*. Recuperado de https://global.ihf.com/doc_detail.cfm?&document_name=ANSI%2FASA%20S12%2E60%20PART%201&item_s_key=00585043

Ali, S. A. (2013). Study Effects of School Noise on Learning Achievement and Annoyance in Assiut City, Egypt. *Applied Acoustics*, 74 (4), 602-606.

Astolfi, A., Bottalico, P. y Barbato, G. (2012). Subjective and Objective Speech Intelligibility Investigations in Primary School Classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131 (1), 247-257.

Bistafa, S. y Bradley, J. (2000). Reverberation Time and Maximum Background-Noise Level for Classrooms from a Comparative Study of Speech Intelligibility Metrics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107 (2), 861-875.

Bradley, J. S. (1986). Speech Intelligibility Studies in Classrooms. *Journal of the Audio Engineering Society*, 80 (3), 846-854.

Bradley, J. S. (1998). Relationships among Measures of Speech Intelligibility in Rooms. *Journal of the Audio Engineering Society*, 46 (5), 396-405.

Bradley, J. y Sato, H. (2008). The Intelligibility of Speech in Elementary School Classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123 (4), 2078-2086.

Cantor Cutiva, L. C. y Muñoz Sánchez, A. I. (2009). Condiciones acústicas de las aulas universitarias en una universidad pública en Bogotá. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55 (216), 26-34.

Cantor Cutiva, L. C., Vogel, I. y Burdorf, A. (2013). Voice Disorders in Teachers and their Associations with Work-Related Factors: A Systematic Review. *Journal of Communication Disorders*, 46 (2), 143-155.

Cardoso Sampaio, M., Farías, E., Carvalho, F., Araújo, T. y Porto, L. (2012). Vocal Effort and Voice Handicap Among Teachers. *Journal of Voice*, 26 (6), 820.e15-8.

Department for Education and Skills. (2003). *Building Bulletin 93. Acoustic Design of Schools*. Londres: Architects and Building Branch.

- Dockrell, J. E. y Shield, B. M. (2006). Acoustical Barriers in Classrooms: The Impact of Noise on Performance in the Classroom. *British Educational Research Journal*, 32 (3), 509-525.
- European Committee for Electrotechnical Standardization. (2011). *Sound System Equipment. Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index*. Recuperado de <http://resource.isvr.soton.ac.uk/staff/pubs/PubPDFs/BS%20EN%2060268-16.pdf>
- Fuchs, G. L. y J. Osuna. (1965). *Medición de inteligibilidad. Memoria de las Primeras Jornadas Latinoamericanas de Acústica*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Gómez, V. y Barrigón, J. (2011). Analysis of Acoustical Characteristics and Some Recommendations for Different Educational Rooms. *Archives of Acoustics*, 36 (4), 741-759.
- Hodgson, M. (2002). Rating, Ranking, and Understanding Acoustical Quality in University Classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 112 (9), 568-575.
- Houtgast, T., Steeneken, H. y Plomp, R. (1980). Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function I: General Room Acoustics. *Acta Acustica united with Acustica*, 46, 60-72.
- International Organization for Standardization. (2003). ISO 9921. Recuperado de <https://www.sis.se/api/document/preview/904108/>
- International Organization for Standardization. (2007). ISO 1996-2:2007. *Acoustics - Description, Measurement and Assessment of Environmental Noise. Part 2: Determination of Environmental Noise Levels*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/41860.html>
- International Organization for Standardization. (2009). EN ISO 3382-1:2009. *Acoustics - Measurement of Room Acoustic Parameters - Part 1: Performance Spaces*. Ginebra: BSI.
- Kennedy, S., Hodgson, M., Edgett, L., Lamb, N. y Rempel, R. (2006). Subjective Assessment of Listening Environments in University Classrooms: Perceptions of Students. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119 (1), 299-309.
- Kristiansen, J., Persson, R., Lund, S. P., Shibuya, H. y Nielsen, P. M. (2013). Effects of Classroom Acoustics and Self-Reported Noise Exposure on Teachers' Well-Being. *Environment & Behavior*, 45 (2), 283-300.
- Kumar, S. (2009). *Acoustic Design of Classrooms*. Documento presentado en AES 126th Convention, Múnich, Alemania.

- Ljung, R., Sörqvist, P., Kjellberg, A. y Green, A. (2009). Poor Listening Conditions Impair Memory for Intelligible Lectures: Implications for Acoustic Classroom Standards. *Building Acoustics*, 16 (3), 257-265.
- Miñana, P. (1969). *Compendio práctico de acústica*. Barcelona: Labor.
- Mydlarz, C., Conetta, R., Connolly, D., Cox, T., Dockrell, J. y Shield, B. (2013). Comparison of Environmental and Acoustic Factors in occupied School Classrooms for 11-16 Year Old Students. *Building and Environment*, 60, 265-271.
- Organización Mundial de la Salud. (1999). *Guidelines for Community Noise*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Rosas, C. y Sommerhoff, J. (2008). Acoustic Intelligibility in Spanish: A Proposal for its Measurement. *Estudios Filológicos*, 43, 179-19.
- Sato, H., Bradley, J. y Morimoto, M. (2005). Using Listening Difficulty Ratings of Conditions for Speech Communication in Rooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(3), 1157-1167.
- Sato, H., Morimoto, M. y Ota, R. (2007). Acceptable Range of Speech Level for Both Young and Aged Listeners in Reverberant and Quiet Sound Fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122 (3), 1616-1623.
- Sato, H., Morimoto, M. y Ota, R. (2011). Acceptable Range of Speech Level in Noisy Sound Fields for Young Adults and Elderly Persons. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130 (3), 1411-1419.
- Sato, H., Morimoto, M. y Wada, M. (2012). Relationship Between Listening Difficulty Rating and Objective Measures in Reverberant and Noisy Sound Fields for Young Adults and Elderly Persons. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131 (6), 4596-4605.
- Sommerhoff, J. y Rosas, C. (2007). The Evaluation of the Intelligibility of Speech in Spanish. *Estudios Filológicos*, 42, 215-225.
- Sommerhoff, J. y Rosas, C. (2011). Study of the Correlation Between STI and Subjective Intelligibility Test. *Estudios Filológicos*, 47, 133-147.
- Sutherland, L. C. y Lubman, D. (2001). *The Impact of Classroom Acoustics on Scholastic Achievement*. Roma: ICA.
- Trombetta Zannin, P. H. y Reich Marcon, C. (2007). Objective and Subjective Evaluation of the Acoustic Comfort in Classrooms. *Applied Ergonomics*, 38 (5), 675-680.

- Trombetta Zannin, P. H., Zwirter, Z. y Petri, D. (2009). Evaluation of the Acoustic Performance of Classrooms in Public Schools. *Applied Acoustics*, 70 (4), 626-635.
- Yang, W. y Bradley, J. S. (2009). Effects of Room Acoustics on the Intelligibility of Speech in Classrooms for Young Children. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125 (2), 922-933.

Rendimiento cognitivo y calidad del ambiente del aula

- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D., Kochhar, N., Awbi, H. y Williams, M. (2012). Ventilation Rates in Schools and Pupils' Performance. *Building and Environment*, 48, 215 -223
- Campana, Y., Velasco, D., Aguirre, J. y Guerrero, E. (2014). *Inversión en infraestructura educativa: una aproximación a la medición de sus impactos a partir de la experiencia de los colegios emblemáticos*. Lima: Consorcio de Investigación Económica y Social.
- Cash, C. S. y Twiford, T. (2010). *Improving Student Achievement and School Facilities in a Time of Limited Funding*. Recuperado de <http://cnx.org/content/m23100/latest/>
- Castellanos, A. y Puentes, E. (2011). *Contaminación auditiva: ¡afecta a estudiante y deja sordo!* Recuperado de <https://es.slideshare.net/erikaapuentes/contaminacion-auditiva-10399695>
- Chun, M. y Turk-Browne. (2007). Interactions Between Attention and Memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 17 (2), 177-184.
- Connolly, D., Dockrell, J., Shield, B., Conetta, R. y Cox, T. (2013). Adolescents' Perceptions of their School's Acoustic Environment: The Development of an Evidence Based Questionnaire. *Noise and Health*, 15 (65), 269-280.
- Corgnati, S., Filippi, M. y Viazzo, S. (2007). Perception of the Thermal Environment in High School and University Classrooms: Subjective Preferences and Thermal Comfort. *Building and Environment*, 42 (2), 951-959.
- Coriolanus, L. C. (2010). *Improving the Speech Intelligibility in Classrooms*. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University.
- Coronado J. (2014). El colegio, un proceso de diálogo entre arquitectura y educación, como parámetros en busca del hábitat escolar del siglo XXI en Bogotá. *Escala*, 230, 50-54.

- Cheng, G., English, S. y Filardo, M. (2011). *Facilities: Fairness & Effects*. Los Ángeles: Advancement Project.
- De Giuli, V., Pontarollo, C. M., De Carli, M. y Di Bella, A. (2013). Overall Assessment of Indoor Conditions in a School Building: an Italian Case Study. *International Journal of Environmental Research*, 8 (1), 27-38.
- De Juan-Vigaray, M., González-Gascón, E., Barra-Hernández, P., Hernández-Ricarte, V., Carmona-Martínez, J., López-García, J., Martínez-Mora, C. *et al.* (2013). ¿Qué percepción tienen los alumnos sobre las aulas en las que estudian? En M. Tortosa, J. Álvarez y N. Pellín (coords.). *XI Jornadas de Redes e Investigación en Docencia Universitaria. Retos de Futuro en la Enseñanza Superior* (pp. 2461-2477). Alicante: Universidad de Alicante.
- De la Torre, F. y López, I. (2000). Impacto del ruido de tráfico en los procesos de atención y memoria de los escolares. *Tecniacústica*, 5, 1-6.
- Dockrell, J. y Shield, B. (2011). The Impact of Sound-Field Systems on Learning and Attention in Elementary School Classrooms. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55 (4), 1163-1176.
- Durán-Narucki, V. (2008). School Building Condition, School Attendance, and Academic Achievement in New York City Public Schools: A Mediation Model. *Journal of Environmental Psychology*, 28, 278-286.
- Evans, G. W. (2006). Child Development and the Physical Environment. *Annual Review of Psychology*, 57, 423-451.
- Evans, G. W., Hygge, S. y Bullinger, M. (1995). Chronic Noise and Psychological Stress. *Psychological Science*, 6 (6), 333-338.
- Fernández, J. M. (2009). *Las tecnologías de la información y la comunicación desde la perspectiva de la psicología de la educación*. Ciudad de México: Secretaría de Educación Pública.
- González, G. (2006). Del concepto de ruido urbano al de paisaje sonoro. *Bitácora Urbano Territorial*, 1, 39-52.
- Haapakangas, A., Hongisto, V., Hyönä, J., Kokko, J. y Keränen, J. (2014). Effects of Unattended Speech on Performance and Subjective Distraction: The Role of Acoustic Design in Open-Plan Offices. *Applied Acoustics*, 86, 1-16.
- Haghighi, M. M., Chiao, L. E. y Mohd, M. B. (2012). Effect of Acoustic on Students' Performance in Secondary Classroom Environment: A Review. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2 (4), 2557-2560.

- Heft, H. (1979). Back Ground and Focal Environmental Conditions on the Home and Attention in Young Children. *Journal of Applied Social Psychology*, 9, 47-69.
- Higgins, S., Hall, E., Wall, K., Woolner, P. y McCaughey, C. (2005). *The Impact of School Environments: A Literature Review*. Recuperado de <http://www.ncl.ac.uk/cflat/news/DCReport.pdf>
- Hoque, S. y Solomon, B. (2016). The Relationship Between Comfort Perceptions and Academic Performance in University. *Journal of Green Building*, 11 (1), 108-117.
- Hygge, S. (1993). Classroom Experiments on the Effects of Aircraft, Traffic, Train, and Verbal Noise on Long-Term Recall and Recognition in Children Age 12-14 Years. En M. Vallet (ed.). *Noise as Public Health Problem: Proceedings of the Sixth International Congress (Vol. 2)* (pp. 531-538.). Arcueil: INRETS.
- Jahncke, H., Hygge, S., Halin, N., Green, A. y Dimberg, K. (2011). Open-Plan Office Noise: Cognitive Performance and Restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 31, 373-382.
- Johansson, C. R. (1975). *Mental and Perceptual Performance in Heat*. Estocolmo: Swedish Council for Building Research.
- Jones, D. M., Smith, A. P. y Broadbent, D. E. (1979). Effects of Moderate Intensity Noise on the Bakan Vigilance Task. *Journal of Applied Psychology*, 62, 627-634.
- Kalamees, T., Väli, A., Kallavus, U., Kurik, L. y Alev, U. (2015). Simulated Influence of Indoor Climate and Ventilation on Schoolwork Performance in Estonian Manor Schools. *International Journal of Ventilation*, 14 (2), 153-164.
- Kinnealey, M., Pfeiffer, B., Miller, J., Roan, C., Shoener, R. y Ellner, M. (2012). Effect of Classroom Modification on Attention and Engagement of Students with Autism or Dyspraxia. *American Journal of Occupational Therapy*, 66, 511-519.
- Klatte, M., Bergström, K. y Lachmann, T. (2013). Does Noise Affect Learning? A Short Review on Noise Effects on Cognitive Performance in Children. *Frontiers in Psychology*, 4, 578.
- Lazarus, R. y Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Lazarus, R. y Folkman, S. (1991). *Estrés y procesos cognitivos*. Ciudad de México: Martínez Roca.
- Lercher, P. (1996). Environmental Noise and Health: An Integrated Research Perspective. *Environment International*, 22, 117-128.

- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological Assessment*. Nueva York: Oxford University Press.
- Liebl, A., Haller, J., Jödicke, B., Baumgartner, H., Schlittmeier, S. y Hellbrück, J. (2012). Combined Effects of Acoustic and Visual Distraction on Cognitive Performance and Well-Being. *Applied Ergonomics*, 43, 424-434.
- Ljung, R. (2003). Poor Listening Conditions Impair Memory for Intelligible Lectures: Implications for Acoustic Classroom Standards. *Building Acoustics*, 16 (3), 257-265.
- López Barrio, I., Carles, J. y Herranz, K. (1990). *Evaluación de los efectos del ruido en profesores y alumnos antes y después del aislamiento acústico de una escuela*. Santiago de Compostela: Tórculo.
- Marchand, G., Nardi, N., Reynolds, D. y Pamoukov, S. (2014). The Impact of the Classroom Built Environment on Student Perceptions and Learning. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 187-197.
- Martimortugués, C. (2002). *Ruido y estrés ambiental*. Archidona: Aljibe.
- Maxwell, L. E. y Chmielewski, E. J. (2008). Environmental Personalization and Elementary School Children's Self-Esteem. *Journal of Environmental Psychology*, 28 (2), 143-153.
- Mazón, J. (2014). The Influence of Thermal Discomfort on the Attention Index of Teenagers: An Experimental Evaluation. *International Journal of Biometeorology*, 58 (5), 717-724.
- Mejía, A. (2010). Estrés ambiental e impacto de los factores ambientales en la escuela. *Pampedia*, 7, 3-18.
- Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Normas Técnicas Colombianas NTC 4595 y NTC 4596*. Bogotá, D. C.: Ministerio de Educación Nacional.
- Montazami, A., Wilson, M. y Nicol, F. (2012). Aircraft Noise, Overheating and Poor Air Quality in Classrooms in London Primary Schools. *Building and Environment*, 52, 129-141.
- Monteoliva, J. M., Korzeniowski, C. G., Ison, M. S., Santillán, J. y Pattini, A. E. (2016). Estudio del desempeño atencional en niños en aulas con diferentes acondicionamientos lumínicos. *Revista CES Psicología*, 9 (2), 68-79.
- Murillo, F. J. y Martínez-Garrido, C. (2012). Las condiciones ambientales en las aulas de primaria en Iberoamérica y su relación con el desempeño académico. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 20 (18), 1-19.

- Murillo, F. J., Martínez-Garrido, C. y Hernández Castilla, R. (2011). Decálogo para una enseñanza eficaz. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 9 (1), 6-27.
- Murphy, E. y King, E. (2014). Environmental Noise and Health. En E. Murphy y E. King. *Environmental Noise Pollution. Noise Mapping, Public Health, and Policy* (p. 282). Ámsterdam: Elsevier.
- Oré, R. (2012). *Comprensión lectora, hábitos de estudio y rendimiento académico en estudiantes de primer año de una universidad privada de Lima Metropolitana* (tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Papanikolaou, P., Skenteris, N. y Piperakis S. (2014). Effect of External Classroom Noise on Schoolchildren's Reading and Mathematics Performance: Correlation of Noise Levels and Gender. *International Journal of Adolescent Medicine and Health*, 27 (1), 25-29.
- Párraga, M. y García, T. (2005). El ruido y el diseño de un ambiente Sonoro. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 8 (2), 83-85.
- Párraga, R. y García, T. (2014). Diseño ergonómico de aulas universitarias que permitan optimizar el confort y reducir la fatiga de estudiantes y docentes. *Industrial Data* (17) 2, 7-16.
- Pawlaczyk-Łuszczynska, M., Dudarewicz, A., Waszkowska, M., Szymczak, W. y Śliwińska-Kowalska, M. (2015). The Impact of Low Frequency Noise on Human Mental Performance. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 18, 185-198.
- Pozo, J. I. (2008). *Aprendices y maestros: la psicología cognitiva del aprendizaje*. Madrid: Alianza.
- Quintero, D. (2015). *Análisis del impacto de las condiciones acústicas en un aula* (trabajo de grado). Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.
- Rinaudo, M., Chiecher, A. y Donolo, D. (2003). Motivación y uso de estrategias en estudiantes universitarios. Su evaluación a partir del motivated strategies learning questionnaire. *Anales de Psicología*, 19 (1), 107-119.
- Rodríguez, C. H. y Matus, G. L. (2002). El estrés y la ciudad. *Revista del Centro de Investigación Universidad La Salle*, 5 (18), 71-77.
- Rudd, P, Reed, F y Smith, P (2008). *The Effects of the School Environment on Young People's Attitudes Towards Education and Learning*. Recuperado de <https://www.nfer.ac.uk/>

the-effects-of-the-school-environment-on-young-peoples-attitudes-towards-education-and-learning-summary-report

- Sammons, P. (2007). *School Effectiveness and Equity: Making Connections*. Recuperado de <https://www.educationdevelopmenttrust.com/~media/cfbtcorporate/files/research/2007/r-school-effectiveness-and-equity-full-2007.pdf>
- Shield, B. y Dockrell, J. (2003). The Effects of Noise on Children at School: A Review. *Building Acoustics*, 10 (2), 97-116.
- Smith, A. P. (1983). The Effects of Noise on Strategies of Human Performance. En G. Rossi (ed.). *Proceeding of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem* (pp. 797-807). Milán: Centro Ricerche e Studi Amplifon.
- Smith, A. P. (1990). Noise, Task Parameters and Cognitive Vigilance Task. En E. Love-sey (ed.). *Contemporary Ergonomics 1990* (pp. 98-103). Londres: Taylor and Francis.
- Smith, A. P. y Jones, D. M. (1992). Noise and Performance. En D. M. Jones y A. P. Smith (eds.). *Handbook of Human Performance (vol. I): The Physical Environment* (pp. 29-54). Londres: Academic Press.
- Smith, A. P. y Miles, C. (1986). Acute Effects of Meals, Noise and Nightwork. *British Journal of Psychology*, 77, 377-387.
- Stansfeld, S., Clark, C., Cameron, R., Alfred, T., Head, J., Haines, M., Van Kamp *et al.* (2009). Aircraft and Road Traffic Noise Exposure and Children's Mental Health. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 203-207.
- Szalma, J. y Hancock, P. (2011). Noise Effects on Human Performance: A Meta-Analytic Synthesis. *Psychological Bulletin*, 137 (4), 682-707.
- Tirapu-Ustárroz, J., Muñoz-Céspedes, J. M., Pelegrín-Valero, C. y Albéniz-Ferreras, A. (2005). Propuesta de un protocolo para la evaluación de las funciones ejecutivas. *Revista de neurología*, 41 (3), 177-186.
- Trimmel, M. (2012). Effects of Low Intensity Noise from Aircraft or from Neighborhood on Cognitive Learning and Electrophysiological Stress Responses. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215, 547-554.
- Wargocki, P., Wyon, D., Matysiak, B. e Irgens, S. (2005). The Effects of Classroom Air Temperature and Outdoor Air Supply Rate on Performance of Schoolwork by Children. *Proceedings of Indoor Air*, 1, 368-72.

Salud mental en el trabajo docente

- Agulló, J. (2015). *Prevención de riesgos laborales: nivel básico*. Madrid: Paraninfo.
- Alcaldía de Medellín. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019*. Recuperado de https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportalDelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_17/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2016/Proyecto%20de%20Acuerdo%20Plan%20de%20Desarrollo.pdf
- Arango, L., Giraldo, N., Cano, L. y Arenilla, A. (2013). Revisión de las recomendaciones sobre comodidad visual en ambientes escolares descritas en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595. *DEARQ - Revista de Arquitectura*, 213-229.
- Ardón, N. y Cubillos, A. (2012). La salud mental: una mirada desde su evolución en la normatividad colombiana. 1960-2012. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 12-38.
- Benavides, F. G., Ruiz-Frutos, C. y García, A. M. (2004). *Salud laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales*. Barcelona: Masson.
- Bermúdez de Alvear, R., Martínez-Arquero, G., Barón, F. y Hernández-Mendo, A. (2010). An Interdisciplinary Approach to Teacher's Voice Disorders and Psychosocial Working Conditions. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 62, 24-34.
- Blanch Ribas, J. M. (2003). Trabajar en la modernidad industrial. En J. M. Blanch Ribas, M. J. E. Tomás, C. G. Durán y A. M. Artiles (eds.). *Teoría de las relaciones laborales. Fundamentos* (pp. 19-147). Barcelona: UOC.
- Bobbitt-Zeher, D. (2011). Gender Discrimination at Work: Connecting Gender Stereotypes, Institutional Policies, and Gender Composition of Workplace. *Gender & Society*, 25, 764-786.
- Borges, L. O. (1997). Os atributos e a medida do significado do trabalho. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 13 (2), 211-221.
- Borges, L. O. y Yamamoto, O. H. (2004). O mundo do trabalho. En J. C. Zanelli, J. E. Borges-Andrade y A. V. Bastos (eds.). *Psicologia, organizações e trabalho no Brasil* (pp. 25-62). Porto Alegre: Artmed.
- Calvete, E. y Villa, A. (2000). Burnout y síntomas psicológicos: modelo de medida y relaciones estructurales. *Ansiedad y Estrés*, 6, 117-130.
- Cantor, L. C. y Muñoz, A. I. (2009). Classroom Acoustics Conditions at Public. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55 (216), 26-34.

- Castellanos, A. y Puentes, E. (2011). *Contaminación auditiva: ¡afecta a estudiante y deja sordo!* Recuperado de <https://es.slideshare.net/erikaapuentes/contaminacion-auditiva-10399695>
- Cimbalista, S. (2007). Sufrimiento: los significados adversos de las condiciones de trabajo en el sistema de producción flexible. *Universitas Psychologica*, 6 (1), 69-78.
- Corgnati, S., Filippi, M. y Viazzo, S. (207). Perception of the Thermal Environment in High School and University Classrooms: Subjective Preferences and Thermal Comfort. *Building and Environment*, 42 (2), 951-959.
- Da Rosa, S., Chalfin, M., Baasch, D. y Soares, J. (2011). Sentidos y significados del trabajo: un análisis con base en diferentes perspectivas teórico-epistemológicas en psicología. *Universitas Psychologica*, 10 (1), 175-188.
- Díaz, M. P. (2015). *Prevención de riesgos laborales. Seguridad y salud laboral*. Madrid: Paraninfo.
- Erick, P. y Smith, D. R. (2011). A Systematic Review Musculoskeletal Disorders Among School Teachers. *BMC Musculoskelet Disord*, 12 (260), 1-11.
- Federación Española de Trabajadores de la Enseñanza. (2012). *Los comportamientos disruptivos en las aulas generan altos niveles de estrés a más del 50% del profesorado*. Recuperado de <http://gdc.feteugt.es/cuteeditornet/imagenes/2010/Comunicacion/COMPrensa270110.pdf>
- Fernández-Puig, V., Longás, J., Chamarro, A. y Virgili, C. (2015). Evaluando la salud laboral de los docentes de centros concertados: el Cuestionario de Salud Docente. *Journal of Work and Organizational Psychology*, 31, 175-185.
- Folkman, S., Lazarus, R. S., Dunkel-Schetter, C., DeLongis, A. y Gruen, R. J. (1986). Dynamics of a Stressful Encounter: Cognitive Appraisal, Coping, and Encounter Outcomes. *Journal of Personality and Social Psychology*, 50 (5), 992-1003.
- García, C. y Muñoz, A. (2013). Salud y trabajo de docentes de instituciones educativas distritales de la localidad uno de Bogotá. *Avances en Enfermería*, 31 (2), 30-42.
- Gil-Monte, P. (2005). *El síndrome de quemarse por el trabajo*. Madrid: Pirámide.
- Gill, M., Roca, M. y García-Campayo, J. (2014). Crisis económica y salud mental. Informe SESPAS 2014. *Gaceta Sanitaria*, 28 (1), 104-108.
- Gómez Etxebarria, G. (2009). *Manual para la formación en prevención de riesgos laborales. Especialidad de ergonomía y psicología aplicada*. Valencia: CISS.

- Gómez Etxebarria, G. (2012). *Manual de prevención de riesgos y salud laboral en los centros docentes*. Madrid: Wolters Kluwer.
- González, G. (2006). Del concepto de ruido urbano al de paisaje sonoro. *Bitácora Urbano Territorial*, 1, 39-52.
- González, N. (2008). Prevalencia del estrés en la satisfacción laboral de los docentes universitarios. *Revista Electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social*, 3 (4), 68-89.
- Haghighi, M. M., Chiao, L. E. y Bin Mohd, M. (2012). Effect of Acoustic on Students' Performance in Secondary. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2, 2557-2560.
- Halbesleben, J. R. B. y Demerouti, E. (2005). The Construct Validity of an Alternative Measure of Burnout: Investigating the English Translation of the Oldenburg Burnout Inventory. *Work and Stress*, 19, 208-220.
- Hakanen, J. J., Bakker, A. B. y Schaufeli, W. B. (2006). Burnout and Work Engagement Among Teachers. *Journal of School Psychology*, 43, 495-513.
- Jahncke, H., Hygge, S., Halin, N., Green, A. M. y Dimberg, K. (2011). Open-plan Office Noise: Cognitive Performance and Restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 31, 373-382.
- Jensen, S. y McIntosh, J. (2007). Absenteeism in the Workplace: Results from Danish Sample Survey Data. *Empirical Economics*, 32 (1), 125-39.
- Kalamees, T., Väli, A., Kallavus, U. y Kurik, L. (2007). Simulated Influence of Indoor Climate and Ventilation on Schoolwork Performance in Estonian Manor Schools. *International Journal of Ventilation*, 14 (2), 153-164.
- Kurek, M. (2015). Designing Tasks for Complex Virtual Learning Environments. *Bellaterra Journal of Teaching & Learning Language & Literature*, 8 (2), 13-32.
- Kyriacou, C. (2001). Teacher Stress: Directions for Future Research. *Educational Review*, 53 (1).
- Latinovic, R., Gulliford, M. y Hughes, R. (2006). Incidence of Common Compressive Neuropathies in Primary Care. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 77 (2), 263-265.
- Lazarus, R. y Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping*. Nueva York: Springer-Verlag.

- Lazarus, R. y Folkman, S. (1986). *Estrés y procesos cognitivos*. Barcelona: Martínez Roca.
- Ljung. (2010). *Room Acoustics and Cognitive Load when Listening to Speech* (tesis doctoral). Luleå University of Technology, Luleå, Suecia.
- Lobo, A. y Artal, J. (1986). Validity of the Scaled Version of the General Health Questionnaire (GHQ-28) in a Spanish Population. *Psychological Medicine*, 135-40.
- Madrid, C. (2012). *Estilos de afrontamiento, distrés y daños a la salud en docentes universitarios* (tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Ciudad de México, México.
- Malmberg, P. y Lundback, B. (2000). Impact of Occupation Respiratory Disease. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 26 (5), 382-389.
- Marx, K. (1968). *Génesis y estructura del capital de Marx*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Maslach, C. (2003). Job Burnout: New Directions in Research and Intervention. *Current Directions in Psychological Science*, 12 (5), 189-192.
- Matud, M. P., García, M. D. y Matud, M. J. (2006). Estrés y malestar en el profesorado. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 6 (1), 63-76.
- Mazón, J. (2014). The Influence of Thermal Discomfort on the Attention Index of Teenagers: An Experimental Evaluation. *International Journal of Biometeorology*, 58, 717-724.
- Menéndez, F. (2005). *Higiene industrial: manual para la formación de especialistas*. Madrid: Lex Nova.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2005). *Política Nacional de Prestación de Servicios de Salud*. Bogotá, D. C.: Ministerio de Salud y Protección Social.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *Plan Decenal de Salud Pública 2012 - 2021*. Bogotá, D. C.: Ministerio de Salud y Protección Social.
- Montgomery, C. y Rupp, A. (2005). A meta-analysis for Exploring the Diverse Causes and Effects of Stress in Teachers. *Canadian Journal of Education*, 28 (3), 458-486.
- Moyano, N. y Riaño-Hernández, D. (2013). Burnout escolar en adolescentes españoles: adaptación y validación del School Burnout Inventory. *Ansiedad y Estrés*, 19 (1), 95-113.
- Murphy, E. y King, E. (2014). Environmental Noise and Health. En E. Murphy y E. King. *Environmental Noise Pollution. Noise Mapping, Public Health, and Policy* (p. 282). Ámsterdam: Elsevier.

- OREALC-Unesco. (2005). *Condiciones de trabajo y salud docente: otras dimensiones del desempeño profesional*. Santiago de Chile: OREALC-Unesco.
- Organización Mundial de la Salud. (1995). *Guías para el ruido urbano*. Recuperado de http://www.juristas-ruidos.org/Documentacion/guia_oms_ruido_1.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Salud mental: fortalecer nuestra respuesta*. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs220/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (s. f.). *Occupational Health*. Recuperado de http://www.who.int/occupational_health/healthy_workplaces/en/index.html
- Organización Internacional del Trabajo. (2013). *La prevención de enfermedades profesionales*. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Parejo, A., Sánchez, R., Vázquez, A. y Valero, I. (2015). Efectos del desempleo en las relaciones de pareja, en el ambiente familiar y en la salud mental. *ReiDoCrea*, 4, 106111.
- Riaño-Casallas, M. I. y Palencia-Sánchez, F. (2015). Los costos de la enfermedad laboral: revisión de literatura. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 33 (2), 218-227.
- Rodríguez, A., Zarco, V. y González, J. M. (2009). *Psicología del trabajo*. Madrid: Pirámide.
- Sánchez, C. y Martínez, S. (2014). Condiciones de trabajo de docentes universitarios, satisfacción, exigencias laborales y daños a la salud. *Salud de los Trabajadores*, 22 (1), 19-28.
- Sanchis, E. (2011). *Trabajo y paro en la sociedad postindustrial*. Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Steinhardt, M. A., Smith Jaggars, S. E., Faulk, K. E. y Gloria, C. T. (2011). Chronic Work Stress and Depressive Symptoms: Assessing the Mediating Role of Teacher Burnout. *Stress and Health*, 27, 420-429.
- Szalma, J. L. y Hancock, P.A. (2011). Noise Effects on Human Performance: A Meta-Analytic Synthesis. *Psychological Bulletin*, 137, 682-707.
- Tenti, E. (comp.). (2006). *El oficio de docente: vocación, trabajo y profesión en el siglo XXI*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- United State Department of Labor. (2001). *Lost Work-Time Injuries and Illnesses: Characteristic and Resulting Days Away from Work, 2001*. Washington, D. C.: Bureau of Labor Statistics.

- Urbanos-Garrido, R. M. y González, B. (2013). Desempleo y salud: un análisis de la repercusión de la crisis económica sobre la salud de los españoles. *Estudios de Economía Aplicada*, 31(2), 303-326.
- Van der Doef, M. y Maes, S. (1999). The Job Demand-Control (-Support) Model and Psychological Well-Being: A Review of 20 Years of Empirical Research. *Work & stress*, 13 (2), 87-114.
- Waddell, G. y Burton, A. K. (2006). *Is Work Good for your Health and Well-Being?* Londres: TSO.

Contexto normativo de la educación

- Alcaldía de Santiago de Cali. (2017). *Anuario Educativo del Municipio de Santiago de Cali - Boletín Estadístico*. Recuperado de file:///C:/Users/rafae/OneDrive/Desktop/Anuario%20definitivo%202017.pdf
- Alcaldía de Santiago de Cali. (s. f.). *Geoportal IDESC*. Recuperado de <http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/3560/idesc/>
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Recuperado de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html
- Benavides, C. (2007). *Hábitat escolar, más allá de la infraestructura educativa*. Bogotá, D. C.: Secretaría de Educación del Distrito de Bogotá.
- Congreso de la República de Colombia. (23 de diciembre de 1993). [Ley 100 de 1993]. Recuperado de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0100_1993.html
- Congreso de la República de Colombia. (8 de febrero de 1994). [Ley 115 de 1994]. Recuperado de https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-85906_archivo_pdf.pdf
- Congreso de la República de Colombia. (21 de enero del 2013). [Ley 1616 del 2013]. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/ley-1616-del-21-de-enero-2013.pdf>
- Figueredo, C., González, J. y Cortázar, H. (2016). *Las políticas públicas educativas en Colombia y su pertinencia en los planes de desarrollo 2004-2018* (tesis de maestría). Universidad de San Buenaventura, Santiago de Cali, Colombia.
- Instituto Colombiano de Construcciones Escolares. (1980). *Manual de diseño*. Bogotá, D. C.: Instituto Colombiano de Construcciones Escolares.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595. Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*. Recuperado de https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-355996_archivo_pdf_norma_tecnica.pdf
- Maldonado, R. (1999). *Historia de la arquitectura escolar en Colombia*. Bogotá, D. C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (1996). *Diseño de edificios escolares. Definición de espacios y predimensionamiento de áreas*. Bogotá, D. C.: Ministerio de Educación Nacional.
- Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595*. Bogotá, D. C.: Ministerio de Educación Nacional.
- Ministerio de Educación Nacional. (2015). *Colegio 10: lineamientos y recomendaciones para el diseño arquitectónico del colegio de jornada única*. Bogotá, D. C.: Imprenta Nacional de Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (2016). *La educación en Colombia. Revisión de políticas nacionales*. París: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1986). *Normas y estándares para las construcciones escolares*. París: Unesco.
- Presidencia de la República de Colombia. (30 de marzo del 2016). [Decreto 501 de 2016]. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=69054>
- Secretaría de Educación del Distrito y Rivera Realpe, Á. (2000). *Construyendo pedagogía. Estándares básicos para construcciones escolares*. Bogotá, D. C.: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Secretaría de Educación de Medellín. (2016a). *Datos de matrícula*. Recuperado de <https://medellin.edu.co/secretaria/educacion-en-cifras?showall=&start=2>
- Secretaría de Educación de Medellín. (2016b). *Establecimientos educativos por sector*. Recuperado de <https://medellin.edu.co/secretaria/educacion-en-cifras?showall=&start=1>

Estándares de diseño

- Arango, L., Giraldo, N., Cano, L. y Arenilla, A. (2013). Revisión de las recomendaciones sobre comodidad visual en ambientes escolares descritas en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595. *DEARQ*, (13), 213-219.

- Benavides, C. (2007). *Hábitat escolar más allá de la infraestructura educativa*. Recuperado de https://issuu.com/jorge_raedo/docs/benavides_suecun_habitat_escolar
- Echeverría, A., Guerrero, A., López, D. y Sánchez, S. (2017). *Línea del tiempo historia de la educación colombiana*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/dayanafairuzlopezmercado/linea-del-tiempo-historia-de-la-educacion-colombiana>
- Iregui, A., Melo, L. y Ramos, J. (2006). La educación en Colombia: análisis del marco normativo y de los indicadores sectoriales. *Revista de Economía del Rosario*, 9 (2), 175-238.
- Línea de tiempo historia de la educación en Colombia. (2015, abril 16). Recuperado de <https://prezi.com/remfcj58cgy/linea-de-tiempo-historia-de-la-educacion-en-colombia/>
- Secretaría de Educación del Distrito. (2015). *Bogotá construye su futuro hábitat escolar para el siglo XXI*. Recuperado de <http://repositorios.ed.educacionbogota.edu.co/jspui/handle/123456789/4161>

Autores

Carla María Zapata Rueda

Ph. D. en Psicología de la Universidad de Maimónides (Buenos Aires, Argentina) y magíster en Psicología, especialista en Gestión de la Calidad Universitaria y psicóloga de la Universidad de San Buenaventura (Medellín, Colombia). En esta institución, es docente titular en el Doctorado en Psicología y líder del grupo de investigación en Salud Comportamental y Organizacional, y de la línea de investigación en Psicología de la Salud. Además, lidera el proyecto apoyado por Colciencias que dio origen a este libro.

Correo electrónico: carlazapatarue@gmail.com

Graciela Melisa Viegas

Doctora en Ciencias, en el área de Energías Renovables, y arquitecta. Docente de curso de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina) e investigadora asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Su línea de trabajo se centra en la interacción hábitat-energía-ambiente, tanto en la escala edilicia como en la urbana. Desarrolla sus actividades en los campos de la investigación, la docencia y la extensión universitaria.

Correo electrónico: gachiviegas@yahoo.com.ar

Gustavo Alberto San Juan

Doctor en Ciencias, en el área de Energías Renovables, y arquitecto. Profesor titular de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina).

Actualmente, es investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y director del Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), así como del Laboratorio de Modelos y Diseño Ambiental (LAMbDA), en La Plata (Argentina). Su línea de trabajo se centra en la interacción hábitat-energía-ambiente, tanto en la escala edilicia como en la urbana.

Correo electrónico: gustavosanjuan60@hotmail.com

Helmuth Ramos Calonge

Magíster en Construcción y arquitecto de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Integrante del Grupo Coordinador Nacional Saber Pro en Arquitectura del 2002 al 2006. Además, estuvo a cargo de la coordinación académica de este proyecto entre el 2007 y el 2013. Desde el año 2010, es docente investigador de tiempo completo en la Universidad de La Salle (Colombia) y adelanta cátedras e investigaciones en temas como calidad del hábitat, confort y mejoramiento de la vivienda social. Forma parte del grupo de investigación Hábitat y Tecnología (Habitec).

Correo electrónico: hramos@unisalle.edu.co

Jairo Alberto Coronado Ruiz

Magíster en Docencia Universitaria e Investigación de la Universidad de La Salle (Colombia), con *Stage* en Administración y Proyectos de Construcción de la Universidad Nacional de Colombia y del CENAC. Diplomado y especialista en Currículo Universitario y arquitecto de la Universidad de los Andes (Colombia), con estudios de Arquitectura en la Universidad Nacional de Colombia. Profesor de pregrado y posgrado y par académico. Fundador, investigador y director del grupo de investigación Hábitat y Tecnología (Habitec) de la Universidad de La Salle; además, es director de proyectos de grado en el programa de Arquitectura de esta institución.

Correo electrónico: jaicoronadodo@unisalle.edu.co

Jonathan Ochoa Villegas

Magíster en Geoinformática e ingeniero de sonido de la Universidad de San Buenaventura (Medellín, Colombia). Autor del capítulo de libro *Mapa*

estratégico de ruido para cuantificar afección por ruido en la población y coautor de artículo *Application of Auralizations to Evaluate the Influence of Reverberation and Background Noise on Intelligibility and Listening Difficulty of a Classroom*. Director de programa y docente investigador de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura e investigador en los campos de ruido ambiental, sistemas de audio y psicoacústica.

Correo electrónico: jonathan8avillegas@hotmail.com

Laura Rendón Gaviria

Magíster en Arquitectura y Urbanismo de la Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil) y arquitecta de la Universidad Nacional de Colombia (Medellín). Ha escrito artículos de revista y presentado ponencias en eventos académicos sobre el confort ambiental. Es asesora bioclimática para el cálculo de generación de energía en La B SAS. Además, es docente investigadora y directora de la Maestría en Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de San Buenaventura (Medellín).

Correo electrónico: arquitecta101@gmail.com

Laura Catalina Sarmiento Miranda

Maestranda en Bioclimática de la Universidad de San Buenaventura (Medellín, Colombia) y arquitecta de la Universidad de Pamplona (Cúcuta, Colombia). Realizó ponencias sobre el impacto de las condiciones ambientales en los procesos de enseñanza-aprendizaje en el simposio de comodidad ambiental gestionado por el presente estudio. Actualmente, es auxiliar de investigaciones de la Universidad de San Buenaventura e integrante del grupo de investigación, en calidad de estudiante de maestría.

Correo electrónico: laurasarmiento.90@gmail.com

Lucas Arango Díaz

Doctor en Arquitectura y Urbanismo, en la línea de investigación Edificación Sustentable - Arquitectura Pasiva y Eficiencia Energética, de la Universidad del Bío-Bío (Chile). Magíster en Arquitectura y Urbanismo, en la línea de investigación Comportamiento Ambiental de Espacios Urbanos y Edificaciones, de la Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil) y arquitecto de la

Universidad Nacional de Colombia (Medellín). Docente investigador de la Universidad de San Buenaventura, docente ocasional de la Universidad Nacional de Colombia y director La B SAS, Arquitectura + Bioclimática.

Correo electrónico: lucas.arango.diaz@gmail.com

Luis Alberto Tafur Jiménez

Doctor y magíster en Sonido y Vibraciones de la Universidad de Southampton (Reino Unido), especialista en Sistemas de Información Geográfica e ingeniero de sonido de la Universidad de San Buenaventura (Colombia). Asesor de los ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible y de Salud en la formulación de políticas de salud pública enfocadas al control y la gestión del ruido. Ha sido profesor en la Universidad de San Buenaventura, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Escuela Naval de Cadetes. Actualmente, es decano de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de San Buenaventura (Medellín), donde ha ejercido como director de programa de Ingeniería de Sonido y docente investigador.

Correo electrónico: luistafur@gmail.com

Luz Magnolia Tilano Vega

Doctora y magíster en Psicología de la Universidad de San Buenaventura (Medellín, Colombia). Especialista en Clínica Cognitiva Comportamental y Neuropsicología con énfasis en Niños de la Universidad de Antioquia y psicóloga de la Universidad de San Buenaventura. Miembro de la Facultad de Psicología de esta última institución desde 1999, actualmente investiga el confort en el aula en Medellín, Bogotá y Cali para analizar el impacto de la política pública, según la Norma Técnica Colombiana 9545, apoyada por Colciencias.

Correo electrónico: lmtilano13@gmail.com

Nataly Vanessa Echeverry Serna

Candidata a magíster en Psicología Clínica y psicóloga de la Universidad de San Buenaventura (Medellín). Es integrante activa del semillero de investigación EDUPSI desde el 2013 y ha realizado ponencias sobre el impacto de las condiciones ambientales en los procesos de enseñanza-aprendizaje y la salud mental de los docentes y los estudiantes en diferentes eventos, como el simposio de comodidad ambiental gestionado por el presente estudio.

Actualmente, forma parte de los grupos de investigación Salud Comportamental y Organizacional, y Estudios Clínicos y Sociales en Psicología, como auxiliar de investigación del presente proyecto, en calidad de estudiante de maestría.

Nelcy Echeverría Castro

Doctoranda en Historia y Estudios Humanísticos de la Universidad Pablo de Olavide (Sevilla, España). Magíster en Historia y Teoría del Arte y la Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Especialista en Gerencia de Proyectos de Construcción de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá) y arquitecta de la Universidad Católica de Colombia (Bogotá). Profesora e investigadora del programa de Arquitectura de la Facultad de Ciencias del Hábitat de la Universidad de La Salle (Bogotá).

Correo electrónico: necheverria@unisalle.edu.co

Olga Lucía Montoya

Doctoranda en Arquitectura y Urbanismo, en el área de Hábitat, Energía y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Magíster en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina) y arquitecta.

Profesora asociada de Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño de la Universidad de San Buenaventura (Cali), coordinadora del curso Proyectos V: Arquitectura y Clima, y docente de la Maestría en Arquitectura de esa misma institución.

Líder en proyectos de investigación en temas como calidad de vida, habitabilidad, ambiente y confort.

Correo electrónico: olgaluciamontoya72@gmail.com

América Latina ha experimentado transformaciones profundas en los aspectos socioeconómicos y sociopolíticos. En estas, lo cultural ha sido un factor fundamental para el desarrollo de los pueblos. En ese contexto, la escuela se ha entendido como el espacio donde se puede cambiar la forma de pensar y de actuar de las personas. Diversos factores de las características del aula y del clima psicológico influyen en las condiciones para que esto suceda. Su interacción promueve experiencias que intervienen en el bienestar de los estudiantes y sus docentes.

Frente a esta realidad, se pregunta ¿cuál es la relación entre los factores ambientales del aula, en cuanto a la temperatura, acústica e iluminación, y su significancia en la afectación del rendimiento cognitivo de los estudiantes y la salud de los docentes?, ¿cómo se comportan las escuelas en las zonas ecuatoriales, desde el punto de vista ambiental?, ¿cuál es la pertinencia de la Norma Técnica Colombiana 4595 frente a las características de dichas escuelas?, ¿qué se podría tener en cuenta para que los ambientes de aula de estas escuelas sean confortables?

Para avanzar en las respuestas, se concretó un proyecto de investigación multidisciplinario entre las universidades de San Buenaventura (sedes Cali y Medellín, Colombia), La Salle (sede Bogotá, Colombia) y La Plata (Argentina), en el marco de la convocatoria de Colciencias del 2016.



editorialbonaventuriana



@EditBonaventuri



EditorialBonaventuriana



editorial-bonaventuriana