



LA ARQUITECTURA DEL AULA PARA EL TROPICO. PRINCIPIOS DE DISEÑO PASIVO PARA EDIFICACIONES EFICIENTES

Tesis Doctoral presentada por
Mag Arquitecta OLGA LUCIA MONTOYA FLOREZ

Ante la
Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la
Universidad Nacional de La Plata

Para acceder al grado académico de
DOCTOR EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

Dirección de tesis:
Director: Dr. Arq. Gustavo A. San Juan
Codirector: Dr. Ing. Mec. Carlos A. Herrera C.

La Plata, Argentina 22 de julio de 2020

**LA ARQUITECTURA DEL AULA PARA EL TROPICO
PRINCIPIOS DE DISEÑO PASIVO PARA
EDIFICACIONES EFICIENTES**

AGRADECIMIENTOS

En un proyecto académico y personal como es la tesis doctoral, hay tanto y a quienes agradecer. Primero quisiera agradecer a la Universidad de San Buenaventura, Cali, a sus directivos, a la Dirección de Investigaciones y, especialmente al Decano de la Facultad, el arquitecto Juan Marco Duque y a su directora, la arquitecta Liliam Paz, por el apoyo incondicional durante todo este proceso.

En segunda instancia, agradezco a la Secretaría de Educación Municipal, a los rectores, maestros y estudiantes de los colegios que hicieron parte del estudio, por la generosidad en la información y el interés para participar.

En tercer lugar, quisiera agradecer al Doctorado en Arquitectura y Urbanismo-UNLP de la Universidad Nacional de La Plata, a su director y secretarias, por la buena disposición para resolver dudas, como también agradezco a todas las unidades de apoyo de la UNLP. Agradecimiento especial al arquitecto Gustavo San Juan, Director de la tesis, por su acompañamiento profesional y por su amistad, al igual que al ingeniero Carlos Herrera, como codirector, co-guía y compañero en este camino. Además agradezco al equipo del IIPAC, en especial a las arquitectas Graciela Viegas y a Laura Garganta.

Es momento para agradecer también a todo el equipo de estudiantes que apoyaron como asistentes, auxiliares y monitores de investigación y que hicieron posible el trabajo de medición en los colegios y la aplicación de las encuestas. También agradezco a los profesores y colegas que dieron su apoyo con ideas, asesoría y compañía.

Por último, quiero agradecer a mis padres, especialmente a Sarita por su impecable corrección de estilo, a Pepe y a mis hijos Esteban y a Antonio por su apoyo incondicional constante. Por último, un profundo agradecimiento a Julio, mi esposo, por ser el soporte y, sobre todo por creer en este proyecto, por creer en mí y lo más importante, en nosotros.

RESUMEN

La tesis propone una serie de estrategias bioclimáticas pasivas enfocadas en el confort para aulas en el trópico, enmarcadas en las normas técnicas encargadas de la definición de recomendaciones de diseño para los colegios. El objetivo principal es el de valorar el diseño arquitectónico, específicamente de las aulas en relación con el confort integral (higro-térmico, visual y auditivo) en las regiones tropicales, para generar estrategias de diseño bioclimático que promuevan condiciones de confort en edificaciones eficientes.

Por lo anterior, la hipótesis planteada es:

Las condiciones de confort presentes en las aulas de los colegios en situación tropical, presentan deficiencias en uno o varios aspectos del confort integral (higro-térmico, visual y auditivo), como consecuencia de un diseño arquitectónico con baja exploración en las estrategias bioclimáticas que mejoren la interacción entre ventilación natural, ruido e iluminación, propias de los climas cálidos.

La metodología empleada para el abordaje del problema es de tipo analítica-empírica, a través de las variables intervinientes (estructurales y críticas). La estrategia central de la investigación es el estudio de casos, evaluados exhaustivamente a través de la **Auditoría Ambiental de Percepción del Usuario (AAPU)**, diseñada y utilizada en la auditoria energética y de confort en establecimientos educativos. Esta, integra dos componentes: objetivo (mediciones a través de equipos especializados) y subjetivos (encuestas a estudiantes).

Como casos de estudio se escogieron las aulas de los colegios públicos de Cali construidos bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 4595: *Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*, del año 2000, norma que define las condiciones de comodidad térmica, visual y auditiva. Son nueve (9) aulas, de cuatro (4) colegios públicos construidos en la ciudad de Cali después de la aparición de la norma, en su mayoría en zonas marginales y de alta vulnerabilidad social y económica. En el estudio participaron en total 535 estudiantes de los niveles 5 y 6, en dos momentos del año: lluvioso y seco, trabajo de campo realizado en el año 2017. Como trabajo complementario, se desarrollaron entrevistas y grupos

focales con actores claves, para el análisis del proceso de diseño y de las condiciones determinantes del resultado final en las aulas.

Las recomendaciones bioclimáticas se diseñaron y verificaron a través de modelos virtuales para la simulación, con softwares especializados en cada uno de los temas, es así como para el térmico se usó el EnergyPlus; para el visual el DIVA (del inglés Design Iterate Validate Adapt) y para el auditivo el EASE (del inglés Enhanced Acoustic Simulator for Engineers).

Entre los principales hallazgos están las condiciones deficientes en algunos de los temas térmicos, visuales y auditivos. En el confort térmico se verificó la poca aplicabilidad de la norma nacional, heredada de otras internacionales diseñadas para otros contextos climáticos. También, se contrastaron los resultados con los dos modelos teóricos, determinando finalmente que el método analítico resulta poco aplicable y, que el método adaptativo, resulta amplio y poco útil al momento de definir estrategias de diseño.

En el confort visual y auditivo se encontraron fuertes deficiencias en las aulas, dada la permeabilidad de las envolventes de los colegios, las que privilegian aspectos térmicos como la protección de la fachada y la ventilación cruzada, en detrimento de estos dos aspectos del confort. También se pudo evidenciar que el proceso de diseño es aún tradicional y, la débil relación entre la aplicación de la norma NTC 4595 para el diseño de los colegios y las condiciones de confort generadas en las aulas.

En cuanto a las recomendaciones de diseño, la norma NTC 4595 debe ser revisada en profundidad desde las nociones de confort en la condición local y tropical, mientras el proceso de diseño debe pasar de estados convencionales hacia el diseño energético/ambiental/optimizado. Sin lo anterior, las aulas continuarán presentando no solo deficiencias en el confort, sino en la alteración del rendimiento cognitivo, la atención de los estudiantes y los docentes, problemas relacionados con la salud y bienestar físico y emocional.

El trabajo se enmarca en la línea de Hábitat, Energía y Ambiente, desarrollada en el Instituto de Investigaciones y políticas del Ambiente Construido (IIPAC), en la Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

ABSTRACT

The thesis proposes a series of passive bioclimatic strategies focused on comfort of classrooms in the tropic, framed within the technical standards that establish design recommendations for schools. The main objective is to value the architectonic design, specifically of the integral comfort in classrooms (thermal, visual and auditory) in tropical regions, to generate bioclimatic design strategies that promote comfort conditions in efficient constructions.

As a result, the laid out hypothesis is:

The current comfort conditions in the schools classrooms in the tropic, are unsatisfactory in one or several integral comfort aspects (thermal, visual and auditory), as a result of an architectonic design with poor exploration of the bioclimatic strategies that improve the interaction between natural ventilation, noise and illumination, typical from warm climates.

The methodology used to analyze the problem is analytical-empirical type, through the intervening variables (structural and critical). The central strategy of the research is the case study, thoroughly evaluated through the **User Perception Environmental Audit (AAPU in Spanish)**, designed and used in the energy and comfort audit in educational facilities. This integrates two components: objective (measurements through specialized equipment) and subjective (surveys to students).

As study subjects were chosen some classrooms of public schools of Cali constructed under the Colombian Technical Standard NTC 4595: *Civil Engineering and Architecture. Planning and Design of School Facilities and Environments* (2000), standard that defines the thermal, visual and auditory comfort conditions. Nine (9) classrooms were chosen, from four (4) public schools constructed in the city of Cali after the enforcement of the standard, most of those schools are located in marginal zones with difficult social and economical conditions. 535 students of grades 5 and 6 took part in the research, the fieldwork was carried out in 2017 in two moments: wet and dry seasons. As complementary work, interviews and focal groups

were carried out with key stakeholders, to analyze the design process and those decisive conditions in the classrooms, which were reflected on the final result.

The bioclimatic recommendations were designed and verified through simulation of virtual models, with specialized software for each of the themes, being analyzed, using model EnergyPlus for thermal simulation, DIVA (Design Iterate Validate Adapt) for visual studies and EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers) for acoustic evaluation.

The deficient conditions in some thermal, visual and auditory topics are among the main discoveries. The low applicability of the national standard regarding to thermal comfort was verified; this standard comes from other international standards designed for different climatic conditions. Additionally, the results were verified with the two theoretical models, finally determining that the analytical method is hardly applicable and, the adaptive method is broad and barely useful when defining design strategies.

Regarding to the visual and auditory comfort strong deficiencies were found in the classrooms, given the permeability of the building envelop of schools, such as those that favor thermal aspects like facade protection and crossed ventilation, at the expense of those two aspects of comfort. Furthermore, there was evidence on how traditional the design process still is and, the weak relationship between the application of Standard NTC 4595 to design schools and comfort conditions generated in the classrooms.

In regards of the design recommendations, Standard NTC 4595 shall be reviewed in depth from the notion of comfort in the local and tropical condition, while the design process shall move from conventional positions towards power/environment/optimized design. Without the aforementioned, the classrooms will continue having not only comfort deficiencies, but also altering the cognitive performance, attention of students and teachers, health, physical and emotional well-being problems.

The work is framed along the line of Habitat, Energy and Environment, developed in the Institute of Research and Policies of Constructed Environment, in the National University of la Plata, Argentina.

PARTE 1:

MARCO PROBLEMÁTICO-CONCEPTUAL.

Del problema de la investigación

CAPITULO 1

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

La calidad de la arquitectura escolar, especialmente la del aula, es un tema de especial interés, dado el impacto social que tienen estos espacios en el proceso de formación de una sociedad, por su significación funcional, el área construida, los requerimientos ambientales y especialmente, por el potencial de diseño que tiene dicho espacio en su condición de repetición dentro de una infraestructura educativa, para que la relación enseñanza-aprendizaje se realice en condiciones óptimas.

Este espacio destinado por excelencia para la educación, ha pasado a lo largo de los años, de ser desarrollado en lugares improvisados, muchas veces sin las condiciones adecuadas, a ser parte esencial de los edificios educativos. Hoy en día, en los diseños contemporáneos, estos espacios de enseñanza-aprendizaje se amplían a otros sectores como circulaciones, ámbitos de intercambio según el plan formativo del establecimiento, con flexibilidad espacial y funcional. La mirada sobre la calidad ambiental, ha sufrido también una importante transformación, desde condiciones de salubridad y hacinamiento, hasta los últimos abordajes en cobertura educativa, confort y eficiencia, en los recursos (requeridos y generados) como agua, energía y los didácticos.

Las investigaciones sobre confort térmico en colegios, comenzaron a desarrollarse en regiones/países con estaciones climáticas definidas como invierno y verano, en donde las condiciones de confort resultan de la aplicación de sistemas mecánicos de climatización. Posteriormente, en países en situación tropical, en donde las aulas suelen estar naturalmente ventiladas. Varias investigaciones se han dado a la tarea de comparar la situación de confort en oficinas (Busch, 1995) y en aulas (Kwok, 1997) en ambas situaciones evidenciando diferencias en los resultados.

Los principales temas de indagación alrededor del confort térmico, se basaron en la revisión y análisis de los rangos de confort propuestos por los modelos analítico y adaptativo, en edificios con medios mecánicos y los ventilados naturalmente (Tablada, De La Peña, & De Troyer, 2005).

Las investigaciones sobre el confort visual, se han centrado en el avance de las metodologías de predicción del comportamiento de un elemento tan dinámico como la luz natural. Desde el año 2000, se han propuesto en el escenario académico métricas dinámicas para la predicción del comportamiento (Illuminating Engineering Society, 2012; Mardaljevic & Nabil, 2005). Además de la caracterización de otros indicadores como brillos y contrastes indeseados.

En cuanto al confort auditivo en aulas, se ha abordado el acondicionamiento acústico de los espacios con necesidades acústicas específicas como salas de música y bibliotecas (Moreno, Orozco, y Zumaya, 2015), como también una amplia investigación en el impacto del ruido en el aprendizaje (Zavala Bonilla, 2016) y sus efectos en la salud de docentes y estudiantes (Yamile González Sánchez y Fernández Díaz, 2014).

Por otra parte, hay un aporte significativo al conocimiento del diseño bioclimático de edificios escolares, desde investigaciones que involucran el edificio escolar desde un abordaje amplio y sistémico propio de la ecología moderna (San Juan, 2001, 2007), a otros estudios enfocados en algunos de los temas como consumo y eficiencia energética (Discoli & San Juan, 2010) (Filippín, 2005; Mazzocco, Filippin, y Flores Larsen, 2017) , iluminación y eficiencia energética

(Melchiori, San Juan, y Discoli, 2008), iluminación y rendimiento, iluminación y predicción (Monteoliva, Ison, y Pattini, 2014; Monteoliva y Pattini, 2013), confort higro-térmico e iluminación (Gonzalo, Ledesma, Nota, y Marquez, 2001; Ledesma et al., 2003), entre otros.

Algunos de los estudios que integran los componentes térmico, visual y auditivo en la evaluación pos ocupación en América Latina se han realizado en Chile (Trebilcock, Bobadilla, Piderit, Guzmán, Figueroa, Muñoz, Sánchez, Aguilera & Hernández, 2012), en Argentina (G. A. San Juan, Hoses, Rojas, & Moreno, 1999)(San Juan, Discoli, y Alvarez, 2007) y en Colombia (Zapata, Viegas, San Juan, Ramos, Coronado, Ochoa, Rendón, Sarmiento, Arango, Tafur, Tilano, Echeverry, Echeverria, y Montoya, 2018), además de un amplio estudio desarrollado en varios países de América Latina como México, Argentina, Colombia, Costa Rica, República Dominicana y Chile (G. San Juan, Hoses, y Martini, 2014).

El objetivo principal es el de valorar el diseño arquitectónico, específicamente de las aulas en relación con el confort integral (higro-térmico, visual y auditivo) en las regiones tropicales, para generar estrategias de diseño bioclimático y lograr la optimización de las condiciones de confort para edificaciones eficientes.

El confort térmico en edificios ventilados naturalmente, responde a situaciones diferentes a las presentadas en los edificios en contextos con estaciones. Para los primeros, el diseño de la envolvente en relación al control térmico (especialmente sobre las ganancias de energía), es de vital importancia, teniendo en cuenta la relación directa, la temperatura al exterior y el confort al interior. En muchos de estos edificios, la aparición del aire acondicionado responde más a cuestiones sociales y económicas de estatus (Humphreys, 1981), que a una respuesta al confort requerido, lo que ha representado una desarticulación entre ambas situaciones, al conformar espacios de uso dependientes de condiciones ambientales artificiales.

Para el confort visual en situación tropical, es necesario profundizar en las implicancias de las decisiones de diseño sobre el ambiente lumínico que se crea al interior del espacio (Díaz, Vásquez, Cano, y Cuervo, 2013), debido al tipo de cielo con altas luminancias, produciendo excesivo contraste e iluminancias sobre plano de trabajo, brillos y deslumbramiento

indeseados, los que pueden tener efectos en el agotamiento visual, como también en el aprendizaje (Zapata et al., 2018).

En el confort auditivo hay una amplia producción investigativa alrededor del aislamiento y acondicionamiento acústico, sin embargo, se evidencia menor exploración en el análisis y exploración en el diseño en el ruido de fondo, tema que, en el contexto tropical, con envolventes con alta permeabilidad hacia el exterior para promover ventilación cruzada, estas decisiones van en detrimento de las condiciones acústicas.

En las normativas locales y especialmente la NTC 4595, los tres temas del confort requieren una revisión desde las condiciones propias del trópico. En el confort térmico, los rangos de temperatura no pueden ser los heredados de análisis realizados en países con estaciones, lo que puede derivar en diseños con exigencias térmicas mecánicas altas y constantes. En el confort visual, también se necesitan rangos propios y actualizados. La literatura es amplia al indicar la inconveniencia de continuar con métricas estáticas como el Daylight Factor (DF), con porcentajes heredados de cielos nublados (del 2 al 3%), o con ausencia de indicaciones sobre brillos molestos y altos contrastes por exceso de incidencia solar al interior de los espacios. Y, por último, en el confort auditivo, uno de los temas más sensibles para quienes habitan las aulas, es necesario avanzar en la caracterización de aulas ventiladas naturalmente.

Por otro lado, es importante conocer la efectividad de las estrategias de diseño, aplicadas al momento de alcanzar el confort en los espacios y verificar el comportamiento y las implicancias de cada decisión de diseño en el desempeño del edificio, con el fin de hacer la mejor selección, desde lo formal, lo espacial y lo estético, sin sacrificar la comodidad y el confort. Y dentro de este escenario, es necesario la validación de la norma NTC 4595, como aquella que concentra las recomendaciones arquitectónicas para quienes diseñan la arquitectura escolar, con el fin de robustecer la norma y mejorar sus recomendaciones.

En los últimos quince años se han construido en Colombia y de manera más reciente en Cali, instituciones educativas a nivel público promovidas por gobierno nacional a través del Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (FONADE), las cuales deben cumplir con altos

estándares normativos y programáticos. Al mismo tiempo nuevas y readecuadas infraestructuras educativas públicas, bajo el modelo de *ciudadela educativa* ⁽¹⁾.

El edificio escolar en Colombia ha sido uno de los proyectos por excelencia para proyectar la imagen estatal. En un primer momento más colonial; luego, dando paso a edificios de escala monumental con estilos internacionales heredados, como el republicano, para dar paso a edificios a gran escala, en serie y con altas especificaciones técnicas, para dar solución al déficit de cobertura. Hay variedad de tipologías de edificios y escalas adoptadas y a pesar, de la presencia de algunos ejemplos de exploración de la espacialidad y alternativas de configuración del aula, los resultados derivan más en espacios para un modelo pedagógico tradicional de enseñanza y aprendizaje del maestro que “sabe” y está adelante y los estudiantes “que aprenden” y están atrás, en sillas dispuestas en filas e hileras (Ver Capítulo 2: Arquitectura Escolar).

El auge del tema del diseño de edificios destinados a la educación a nivel nacional, en estos últimos años, indica una oportunidad para el abordaje de la **comodidad** ⁽²⁾ y el **bienestar** ⁽³⁾ que se generan en los edificios educativos con altas especificaciones no sólo sobre los temas estético, funcional, formal y técnico, sino sobre lo ambiental y lo climático.

¹ **Ciudadela educativa:** Centros educativos y culturales que buscan la formación con transformación social. Entendidos como polo de desarrollo social, con capacidad para articular las instituciones educativas cercanas. Para esto, ofrecen diversidad de actividades, algunas abiertas a la comunidad, como: deportivas, culturales, salud, recreativas, empresariales, de atención preescolar, entre otras. Alcaldía de Cali (2015), Ciudades Educativas. Recuperado de: <http://www.ciudadelaseducativascali.gov.co>.

² **Comodidad:** Características ambientales de los espacios que permiten una adecuada habitabilidad, que, en el caso de los espacios destinados a la actividad escolar deben garantizar una visibilidad apropiada, un clima interior que no perturbe las actividades y un acondicionamiento acústico que permita las actividades derivadas del proyecto educativo (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC), 2015).

³ **Bienestar:** Satisfacción con la propia vida, en la línea del bienestar subjetivo, el cual incluye las valoraciones positivas y negativas que hacen las personas sobre su vida. Departamento Nacional de Planeación. (2016). DNP revela primer diagnóstico de felicidad para Colombia. <https://www.dnp.gov.co/Paginas>.

Así mismo, los estudios sobre las condiciones de confort y comodidad, generalmente se realizan de manera proyectual o de pre-escenificación y pocas veces se realizan en situación de pos-ocupación (o sea una vez ocupado y en uso el edificio), asumiendo al *habitante* como un actor secundario, jugando un rol pasivo frente a las condiciones de confort resultantes. Estos conceptos, más cercanos a una vertiente tradicional del confort, guardan relación con la postura de algunos arquitectos que prefieren delegar las soluciones de habitabilidad interior, a los ingenieros que desarrollan medios mecánicos para complementar la arquitectura. Visión tradicional no *aggiornada* al desarrollo teórico-histórico de la producción de la infraestructura escolar, así como desactualizada de los procesos contemporáneos de sustentabilidad y del desarrollo y aplicación de sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental ⁽⁴⁾, avance reconocible desde la segunda mitad del siglo XX.

El diseño metodológico de la investigación es de tipo analítico empírico, a través de un objeto de estudio como es el confort integral ⁽⁵⁾, abordado en las aulas de colegios públicos construidos bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 4595: *Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*, a partir del año 2000, en situación tropical. Estos casos fueron estudiados a través de la metodología de Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario-AAPU (G. A. San Juan et al., 1999), a través de dos técnicas, cualitativa y cuantitativa, que integran los componentes térmico, visual y auditivo. Los resultados de la APPU permiten realizar el diagnóstico de las condiciones de confort de dichos espacios áulicos. Se entiende al diagnóstico como la base para la comprobación de los estados anuales e instantáneos y la verificación de las estrategias de diseño más efectivas al momento de alcanzar el confort.

1.2 El problema de la Investigación

⁴ **Sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental:** Conjunto de soluciones orientadas al aprovechamiento racional de los elementos del clima, para garantizar condiciones de confort sin la necesidad de utilizar energías no renovables, promoviendo el uso racional de dichos recursos y a la vez, ahorros energéticos y económicos.

⁵ **Confort Integral:** Es el resultado de integrar aspectos del confort térmico, visual y auditivo.

En Colombia a pesar de tener avances normativos importantes sobre temas ambientales, otros temas como la sostenibilidad y el confort, son aún de aplicación restringida por parte de un sector técnico especializado. Es así, que el diseño de colegios, desde los parámetros de confort, queda como un aspecto de aplicación discrecional por parte de los diseñadores, quienes, en la mayoría de los casos, abordan estos temas de manera intuitiva, con incipiente incorporación de pautas y herramientas predictivas, con bajo soporte en las decisiones de diseño.

La norma NTC 4595 recomienda en Colombia una serie de estrategias para alcanzar espacios educativos confortables. Sin embargo, los criterios consignados son de aplicación discrecional por parte de los diseñadores al no ser de obligatorio cumplimiento y no derivan necesariamente en correctas condiciones de confort. Colegios anteriores a la norma, presentan problemas de bajos niveles de iluminancia, altas temperaturas interiores y tiempos de reverberación (Iglesias, Herrera, y Rosillo, 2016) y en colegios diseñados y construidos posterior a la norma, no se observa una relación fuerte entre el cumplimiento de la norma y las condiciones de confort (Montoya, 2019). A partir de lo anterior, se pone en cuestión no solo la validez de la norma, sino la efectividad del proceso de diseño frente a las exigencias actuales de los espacios para la enseñanza y el aprendizaje.

La Figura 1-1 presenta el marco conceptual del problema abordado, a partir de exponer sus causas y efectos, bajo tres áreas de desarrollo:

- i. **Área 1:** Las aulas presentan condiciones deficientes en uno o varios temas del confort térmico, visual y auditivo.
- ii. **Área 2:** Las condiciones de diseño no promueven aulas confortables.
- iii. **Área 3:** La normativa local tiene poca aplicabilidad por parte de los diseñadores y cuando se aplica, esta no garantiza el diseño de espacios en confort.

El problema en cuestión se centra entonces bajo las “**condiciones de confort, no asociadas a buenas prácticas, en aulas de colegios de nivel público en clima tropical y ecuatorial**”. En cuanto a las causas (Figura 1-1):

La primera área de estudio (A1) se centra en el **déficit de conocimiento científico y de divulgación técnica, para profesionales del sector**, bajo tres causas principales: (i) Poca disponibilidad de Estudios específicos en la materia. (ii) Carencia en cuanto a generación y disponibilidad de conocimiento técnico-disciplinario orientado a diseñadores de espacios educativos. (iii) Carencia de tecnología o conocimiento en cuanto a los procesos de gestión para el diseño, licitación y construcción de obras escolares en el marco citado. La concatenación lógica es –como muestra el gráfico- descendente.

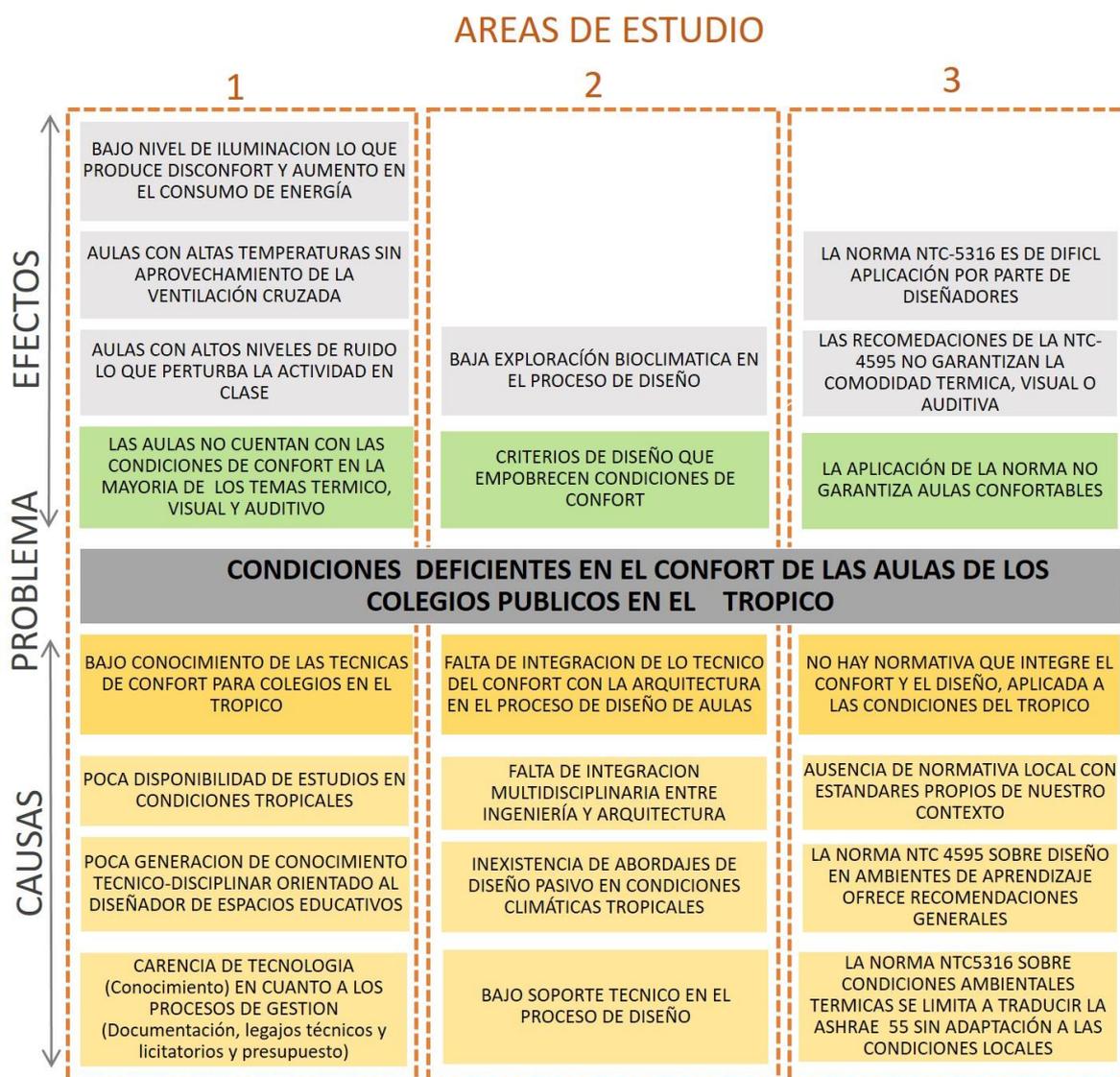


Figura 1-1: Mapa Conceptual: Causas y efectos del problema. Fuente: elaboración propia

La segunda área (A2), enfocada en la **falta de integración de los temas técnicos del confort con el proceso de diseño de las aulas**, tiene tres causas principales: (i) Falta de integración

multidisciplinaria, entre campos de la ingeniería y la arquitectura para la resolución de problemas conjuntos, e inexistencia de abordajes de diseño multidisciplinario, hacia la resolución pasiva de las condiciones de confort en climas tropicales. (iii) Bajo soporte técnico en los procesos de diseño tradicionales.

Por último, la tercera área (A3) sobre **la carencia de normativa que integre el confort y el diseño, aplicada a las condiciones del trópico**, es producto de tres causas: i) La norma NTC 5316 sobre condiciones ambientales térmicas, se limita a la traducción de la norma ASHRAE (del inglés The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) diseñada para otros contextos, con situaciones climáticas diferentes. ii) La norma NTC 4595, sobre el diseño de ambientes de aprendizaje, se limita a dar recomendaciones generales de diseño, enfocados a ciertos aspectos de la comodidad. iii) La normativa local no parte de condiciones propias del contexto tropical.

En cuanto a los efectos (Figura 1-1):

Los establecimientos escolares y fundamentalmente el espacio “aula” -entendido como el área que requiere máximas condiciones de habitabilidad y confort para el desarrollo de la actividad de enseñanza-aprendizaje- **“presentan deficientes condiciones de confort térmico, visual y auditivo”**. Esta situación implica:(i) Niveles de ruido excesivos, con consecuencias en el proceso de aprendizaje y en la salud de los docentes (ii) Temperatura ambiente fuera del rango de confort en gran parte de la jornada escolar (iii) Niveles bajos de iluminación interior lo que redundará en la salud de los estudiantes y la necesidad de utilización de iluminación artificial, implicando el aumento innecesario de consumo de energía para tal fin.

Los criterios de diseño que empobrecen las condiciones de confort, reflejan baja exploración bioclimática en el proceso de diseño.

Por último, **la ausencia de normativa local en los temas de confort, que integre las condiciones propias del trópico**, tiene efectos como: (i) La aplicación de la normativa no garantiza aulas confortables. (ii) Las recomendaciones de diseño consignadas en las normas

NTC no son garantía del confort al interior de los espacios; y (iii) La norma NTC 5316 no es de fácil aplicación por parte de los arquitectos diseñadores, aspectos que redundan en la debilidad de la norma como instrumento normativo en Colombia y como apoyo válido al momento de diseñar y habitar aulas en confort.

El tema es pertinente no solo por el impacto social que implica, sino por la gran cantidad de infraestructuras educativas nuevas que se vienen construyendo en Colombia y especialmente en Cali, en los últimos años, con el fin de salvar el déficit en cobertura educativa que tiene la ciudad. En la actualidad la ciudad prepara su manual de Construcciones Sostenibles, con el fin de dar respuesta a la Ley 0549 de 2015, y establecer los criterios de sostenibilidad de los colegios, con implicaciones en el diseño.

Lo expuesto, posibilita el planteamiento de la siguiente hipótesis y preguntas de la investigación:

Hipótesis: *Las condiciones de confort presentes en las aulas de los colegios en situación tropical, presentan deficiencias en uno o varios aspectos del confort integral (higro-térmico, visual y auditivo), como consecuencia de un diseño arquitectónico con baja exploración en las estrategias bioclimáticas que mejoren la interacción entre ventilación natural-ruido e iluminación, propias de los climas cálidos.*

Las preguntas que se derivan de esta afirmación son:

- ¿Cuáles son las condiciones del confort higro-térmico, visual y auditivo, presentes en las aulas de los colegios públicos en el trópico, y como casos específicos, los realizados en la ciudad de Cali, bajo la norma NTC 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura, Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares?
- ¿Qué estrategias de diseño arquitectónico son las recomendadas para alcanzar las condiciones de confort en las aulas de clase en el contexto tropical, entendidas como la unidad espacial y funcional de mayor repetición, de mayor permanencia por parte de los usuarios dentro del colegio y de mayores requerimientos de confort?

De acuerdo con el árbol del problema presentado anteriormente, para el presente trabajo de investigación se planean los siguientes objetivos:

Objetivo General: El objetivo principal es el de valorar el diseño arquitectónico, específicamente de las aulas en relación con el confort integral (higro-térmico, visual y auditivo) en las regiones tropicales, para generar estrategias de diseño bioclimático y lograr la optimización de las condiciones de confort para edificaciones eficientes.

Objetivos Específicos:

En la primera área de estudio (A1) centrada en **el déficit de conocimiento científico y de divulgación técnica, para profesionales del sector**, se plantean como objetivos específicos:

- Aportar estudios locales y regionales, tanto de la noción de confort, de parámetros aconsejados, como de propuestas de diseño, que impliquen condiciones ambientales, climáticas y sociales del trópico, entendidas como buenas prácticas.
- Proponer el diseño bioclimático en las aulas de los colegios públicos de Cali construidos bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 4595: *Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*, a partir del año 2000.
- Evaluar la calidad del ambiente interior (en relación al exterior), en cada uno de los casos analizados, típicos y representativos, a través de la técnica de auditoría ambiental, que permita establecer las condiciones de confort integral con el fin de establecer cómo influyen las estrategias de diseño en el confort en los estudiantes.
- Brindar información estadística del confort en situación tropical, en dos periodos: lluvioso y seco.

La segunda área (A2), centrada en **la falta de integración de los temas técnicos del confort con el proceso de diseño de las aulas**, se propone:

- Determinar cuáles son las estrategias y pautas de diseño arquitectónico que integra el confort y que respondan a las condiciones climáticas locales.

- Aportar herramientas de cálculo y pautas de diseño, que tiendan a la optimización del confort interior, en las fases de diseño.
- Evaluar, diagnosticar y proponer decisiones de proyecto a partir de modelizar y verificar la situación anual.

Por último, para la tercera área (A3) sobre **la carencia de normativa que integre el confort y el diseño**, aplicada a las condiciones del trópico, los objetivos propuestos son:

- Realizar recomendaciones a la norma NTC 4595 desde el confort, a partir del estudio de las condiciones locales.
- Generar conocimiento para intervenir en el Proceso de Diseño de la arquitectura escolar, orientado a los técnicos/diseñadores y gestores del sector.

Los objetivos planteados, se organizan bajo una lógica causal en función de los problemas planteados, implicando el diseño y desarrollo de la metodología de investigación para la presente tesis. El escenario planteado, genera la necesidad de indagar no sólo en el edificio sino en el “proceso de diseño” bioclimático, revisando críticamente las condiciones establecidas y sus resultados. Se requiere trabajar con técnicas de evaluación y diagnóstico “objetivas” ⁽⁶⁾ de medición de casos construidos, así como sobre técnicas “subjetivas” ⁽⁷⁾ de opinión de los habitantes. El estudio debe permitir registrar, aprender y replicar las experiencias exitosas y plantear alternativas que permitan mejorar la habitabilidad en las aulas existentes, promoviendo mejores condiciones prácticas.

1.3 Enfoque ambiental: Ambiente, edificio escolar y confort

⁶ **Auditoría Objetiva:** Componente de la Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario-AAPU, basada en las mediciones de variables a través de la contrastación empírica, realizada en distintos momentos.

⁷ **Auditoría Subjetiva:** Componente de la Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario-AAPU, centrada en la encuesta de percepción de los estudiantes con respecto a los factores ambientales del aula.

Las relaciones entre modernidad y medio ambiente, constituyen las verdaderas tensiones provocadas por la trayectoria de la civilización occidental, a partir de la aludida transición ecológica ⁽⁸⁾. Modernidad y Ambiente representan el resultado de una misma dinámica; el progresivo protagonismo del ser humano en relación a las superestructuras, a la par de la progresiva centralidad que asume replantearse las relaciones entre seres humanos y naturaleza (Montoya, 2009). Esto ha obligado a cuestionarse tan profundamente la Modernidad, que dicho cuestionamiento ha sentado las bases de un nuevo paradigma de desarrollo y de producción de la arquitectura.

La crisis de los actuales paradigmas de desarrollo, supone que éste se refiere al agotamiento de un estilo de desarrollo ecológicamente depredador, socialmente perverso (creciente exclusión), ambientalmente inconsciente, políticamente injusto, culturalmente alienado y éticamente subvalorado. Los desafíos ambientales indican que la sustentabilidad global depende cada vez más de las sustentabilidades locales y regionales (Banco Mundial, 2019).

El ambiente incluye el medio natural, el social y el artificial, producto de la intervención histórica del social sobre el natural. La intervención que hace el hombre sobre el medio natural es constante, bien sea para satisfacer sus necesidades básicas, como para comodidad y disfrute individual y colectivo. Este bienestar ha tenido sus variaciones dependiendo del momento histórico. Es así, como en el siglo XVI se vinculaba con lo privado, la domesticidad y el hogar. En el siglo XVIII el enfoque se dirigió hacia el ocio y la comodidad, hasta que en el siglo XX el concepto giró hacia las condiciones de confort de los espacios interiores, en relación con factores ambientales como temperatura, luz y ruido.

En los últimos años, las condiciones de comodidad y confort han tenido dos corrientes de pensamiento y desarrollo: quienes promueven la armonía con la naturaleza y la reducción del impacto ambiental a través del consumo mínimo y racional de los recursos, sobre todo a partir

⁸ **Transición ecológica:** Referida al cambio de paradigma de un modelo de desarrollo local, de manera posterior al colonial basado en la extracción de materias primas de las colonias, para finalizar en el moderno a partir de la industrialización.

de configurar una matriz energética basada en recursos no finitos y no contaminantes y por el contrario, quienes usan los últimos avances de la tecnología, para proporcionar con medios mecánicos y robóticos las condiciones de confort en los espacios. Quizás el paradigma de la sostenibilidad y la inteligencia en las ciudades (Smart City) esté en sintonía con la pregunta que presenta San Juan (2019): ¿Cuándo se producirá el “Cambio Tecnológico” hacia un desarrollo sostenible, fundado en buenas prácticas con ética ambiental para el desarrollo, a partir del uso de energías no contaminantes y renovables? (

Figura 1-3).

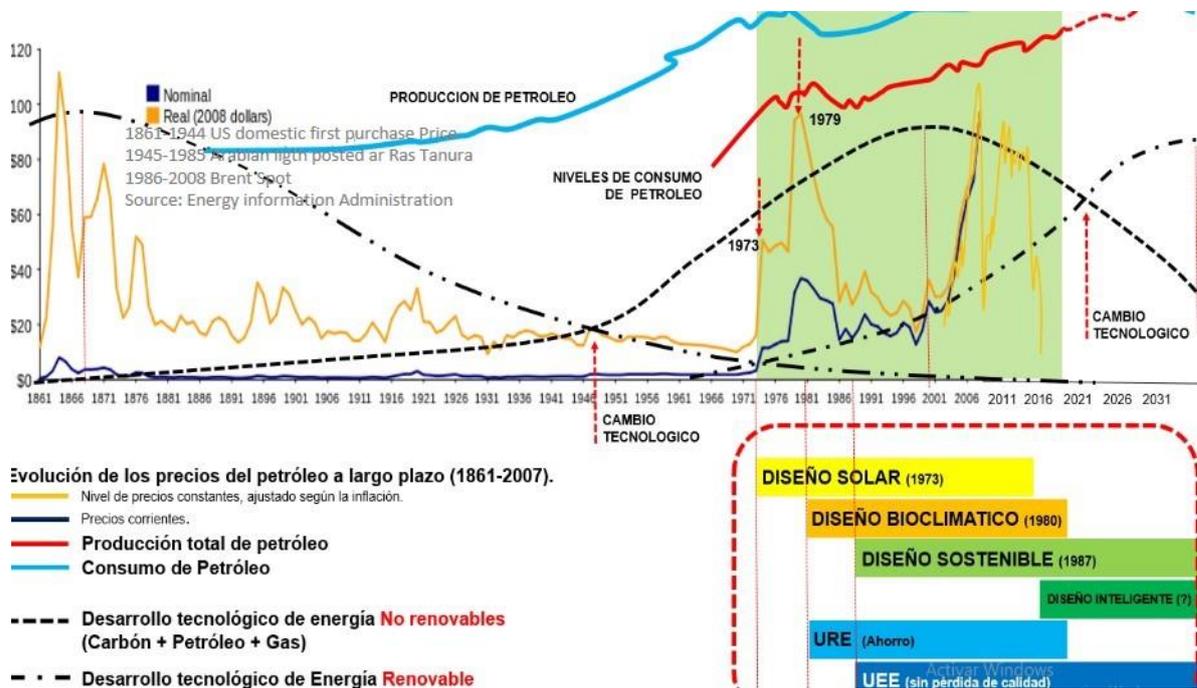


Figura 1-3: Cambio Tecnológico, energía y tipos de diseño (San Juan Gustavo, 2019).

Fuente: “Cambio tecnológico, energético y cultural. De la Revolución neolítica a la 5ta. Revolución Industrial”. Conferencia en el marco de: (I) Sociedad Científica Argentina; (II) Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina; (II) Asociación Argentina de Energía Solar y Ambiente, Jujuy, Argentina (ASADES). 2019.

Es en este contexto es en el que se encuentra la arquitectura bioclimática y la sostenible, enfocadas en el diseño y la construcción de edificios a partir de tener en consideración las condiciones físicas y ambientales del lugar de intervención, y los recursos naturales, los cuales deben ser aprovechados para generar espacios habitables y confortables y disminuir en consecuencia el impacto ambiental.

La arquitectura bioclimática, *arquitectura verde* y *arquitectura sostenible* no son sino diferentes formas de expresar el hecho de proyectar con la naturaleza y de un modo ambientalmente consciente. (Yeang, 2000, p. 1). Autores como Gómez-Azpeitia, Morales, y Torres (2013), o De Dear y Brager (de Dear & Brager, 1998), los cuales enfocan su reflexión en el diseño arquitectónico y cómo, la toma de decisiones en el proceso de diseño puede mejorar las condiciones de confort y promover ahorros energéticos. Es así, que decisiones proyectuales como la orientación, el correcto diseño de las aberturas para optimizar la ventilación e iluminación natural, la correcta selección de los materiales de construcción de acuerdo a la región y al clima, son todas estrategias que contribuyen a alcanzar el confort y a racionalizar el uso de lámparas y elementos de climatización mecánica, con el consecuente ahorro energético, promoviendo además, el uso adecuado de los recursos naturales (Krüger & Zannin, 2004).

Más allá del debate todavía vigente, de la manera de evaluar el confort, otras investigaciones realizadas después de los años 80 comenzaron a abordar las implicancias energéticas de los edificios y sus efectos en el cambio climático. Tal es el caso de Cooper (1982), el cual analiza el consumo y demanda de energía. Otros autores como Pretlove & Oreszczyn (1998), señalan que muchos edificios son diseñados para condiciones climáticas específicas y que seguramente no podrán responder a situaciones cambiantes a futuro. Esta última afirmación es reiterada por investigaciones que advierten sobre los edificios que se diseñan como pasivos⁹ y que para dar respuesta a las condiciones de confort, deben incrementar con el tiempo su consumo energético (Orme & Palmer, 2003).

La relevancia del tema de la comodidad o el confort en el edificio escolar, radica en que la educación, como indica el documento realizado por la organización (Bruni Celli et al., 2008) *además de un derecho humano básico y habilitante para ejercer el resto de los derechos, la educación es condición esencial para el bienestar humano de los hombres y mujeres, así como*

⁹ **Diseño Pasivo:** método utilizado en arquitectura con el objeto de lograr edificios que obtengan su acondicionamiento ambiental mediante procedimientos naturales, utilizando el sol, las brisas y vientos, las características propias de los materiales de construcción, la orientación, entre otras. (Mazria Edward, 1983. *El Libro de la Energía Solar Pasiva*. Ed. Gili)

para el desarrollo integral y sostenible de los pueblos. (p.4). Además, como sostiene (Ramirez, 2009), el edificio escolar por su función social, ha tenido un efecto catalizador en el desarrollo de la arquitectura y ha permitido transmitir no sólo los fundamentos pedagógicos que lo soportan, sino también, el espíritu de la época.

A nivel mundial, diversos organismos han investigado y puesto en evidencia las consecuencias de un deficiente confort sonoro, térmico y lumínico, traduciéndose en trastornos psicológicos, los cuales producen impactos negativos en las condiciones del aula y la actividad docente, como también efectos nocivos sobre los estudiantes (Zapata et al., 2018). Otros estudios han presentado la relación entre los aspectos ambientales del aula, con aspectos que trascienden la dimensión físico espacial hacia lo socio-emocional (Purkey & Smith, 1983) y a la construcción de la propia identidad.

Otras investigaciones relacionan los aspectos ambientales, con el desempeño académico (Murillo y Martínez-Garrido, 2012); con logro académico (Torrecilla, Javier, Martínez Garrido, y Hernández Castilla, 2011) y como lo indican, Trebilcock et al. (2012), los edificios escolares con un adecuado ambiente, mejoran la atención, concentración, aprendizaje y el comportamiento de los estudiantes (Woods et al., 2002). Y finalmente, los que analizan el aporte de las condiciones ambientales en la disminución de comportamientos disruptivos o violentos (Blatchford, Kutnick, Baines, & Galton, 2003).

Las últimas investigaciones en la evaluación del confort integral en aulas, el cual integra los temas térmicos, visuales y auditivos muestran no solo la fuerte interrelación entre estos tres temas para generar espacios de aprendizaje confortables y saludables, sino la relevancia de considerar las condiciones ambientales desde etapas tempranas del diseño (Krü & Zannin, 2004).

1.4 El diseño pasivo frente al diseño tradicional

El proyecto arquitectónico es la síntesis de diversos aspectos: estético, socio-técnico, socio-económico, climático, energético, socio-cultural, ambiental. En este breve y complejo marco,

el proceso de diseño ha sido tradicionalmente de una sola vía, en donde hay un primer momento en donde el arquitecto toma las decisiones fundamentales del proyecto a partir de su conocimiento, tendencia arquitectónica, lugar de implantación y las preferencias del cliente, para luego pasar a un proceso de complementación desde la ingeniería civil, hidro-sanitaria, eléctrica y mecánica, o sea una reflexión y producción cultural, interdisciplinaria. (Trebilcock, 2009).

La mirada a partir del diseño arquitectónico bioclimático, propone al proyecto como el resultado de las condiciones climáticas y ambientales del lugar. Al respecto, el Profesor Alfonso Ramírez Ponce (Profesor de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, México), explica el concepto de “lugar” desde dos regionalidades: tangible e intangible. La primera en relación con materiales y técnicas locales, como reconocimiento del saber y tradición local y por el otro, en la adaptación de las obras al medio. La segunda, centrada en la cultura. Otra manera, es la expresada por Fernandez (2014)es:

*El adjetivo apropiado, para deferir a un modo específico local de adaptar un modo genérico global, como el discurso universal de la modernidad, y su utilidad para considerar cierta clase de ajuste entre obra y contexto, se verifica en la obra de Amancio Williams ⁽¹⁰⁾ alrededor de algo así como una **sensibilidad ambiental**, es decir una capacidad de manejar tal ajuste tomando en cuenta la especificidad de lo ambiental de cada lugar (clima, paisaje, formas-usos devenidos tipos, modos de ser –antropología y psicológicamente-en/con el sitio, etcétera.*

A partir de la década de 1990 varios autores comenzaron a señalar los inconvenientes de diseñar ciudades en condiciones ambientales y climáticas diferentes, (de Schiller y Evans, 1994), lo que desemboca en condiciones deficientes de confort en áreas de la ciudad (Golany, 1996). También, los elementos climáticos como el sol, la humedad y los vientos, pueden

¹⁰ **Amancio Williams** (1913-1989). Arquitecto (1938) de nacionalidad argentina, reconocido por difundir los ideales del Movimiento Moderno. Fundamentalmente teórico con un enfoque basado en la investigación, con pocos proyectos realizados, como la “Casa del puente”, Mar del Plata, Argentina (1943-1946) o la dirección y construcción de la “Casa Curutchet”, La Plata, Argentina (1949-1953).

producir diferentes sensaciones en los espacios urbanos (Zacharias, Stathopoulos, & Wu, 2001), además de las diferencias en el uso energético y la calidad de aire, (Svensson & Eliasson, 2002).

Según (Gustavo San Juan et al., 2013) para considerar temas como la eficiencia energética y el confort, en el marco del Diseño Bioclimático y/o Sustentable, la metodología implica abordar cuatro etapas básicas: (i) Análisis bioclimático general, (ii) Dimensionamiento inicial (pre-cálculo), en la etapa de anteproyecto, estudiando variantes proyectuales, (iii) Dimensionamiento Final, en la etapa de proyecto, estas tres en la fase pre-ocupacional o de diseño y (iv), la auditoría ambiental (objetiva y subjetiva), para verificar las decisiones tomadas en función de contrastar las hipótesis proyectuales con el funcionamiento real. En la Figura 1- 4 y Tabla 1- 1 se muestra el esquema planteado de manera sintética:

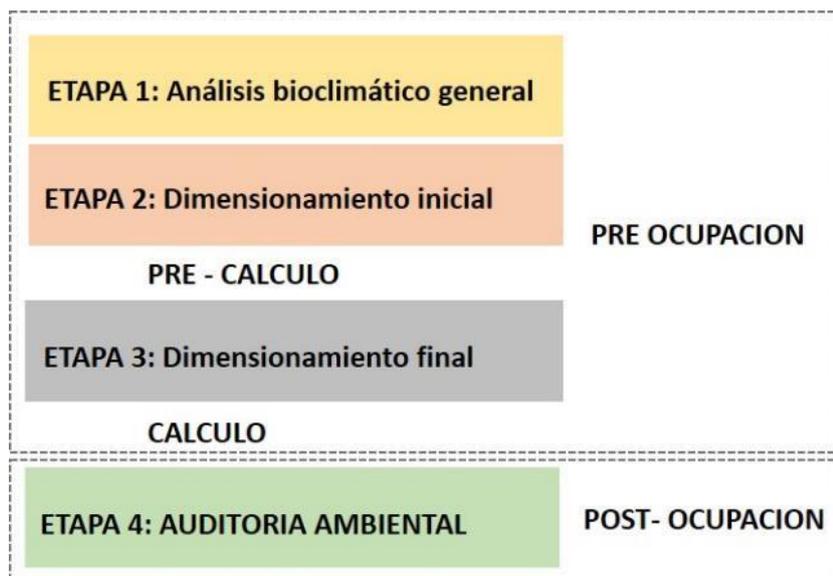


Figura 1-4: Etapas de diseño bioclimático
Fuente: (Gustavo San Juan et al., 2013)

Tabla 1-1: Etapas de diseño bioclimático

Etapa 1: Análisis bioclimático general	Etapa 2: Dimensionamiento inicial (Pre-cálculo)	Etapa 3: Dimensionamiento Final (Cálculo)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relevamiento y tratamiento de datos meteorológicos. ▪ Clasificación bioclimática de las condiciones locales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esquema del proyecto. ▪ Dimensionamiento inicial de colección o protección solar. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensionamiento final. ▪ Definición de métodos constructivos.

Etapa 1: Análisis bioclimático general	Etapa 2: Dimensionamiento inicial (Pre-cálculo)	Etapa 3: Dimensionamiento Final (Cálculo)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de condiciones de paisaje. ▪ Análisis de características culturales locales ▪ Selección de sistemas o pautas de diseño bioclimáticas. ▪ Determinación de necesidades de acondicionamiento ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensionamiento inicial de acumulación. ▪ Dimensionamiento inicial de condiciones tecnológicas de la envolvente. ▪ Análisis económico: grado de sustitución de fuentes energéticas no convencionales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis económico final: <ul style="list-style-type: none"> a. Grado de sustitución de energía. b. Reducción de impacto ambiental. b. Amortización de la inversión. c. Determinación de sobre-costo.
A TENER EN CUENTA	A TENER EN CUENTA	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parámetros de Localización. (Lugar de emplazamiento, Planimetría. Orientación, Latitud, Longitud, Altitud, Altura y Acimut Solar. Zona Bioambiental. Características el paisaje. ▪ Parámetros Climáticos (Temperatura media anual y máximas y mínimas estacionales. Humedad Relativa de invierno y verano. Heliofanía, Radiación solar. Dirección, velocidad y frecuencia de Vientos. Sucesos regionales, Amplitud térmica, ▪ Entalpía, Régimen de lluvias anual y estacional, Nubosidad, Nevadas. ▪ Grados Día de Calefacción y Enfriamiento. Parámetros de Confort Higrotérmico. (Utilización de los diagramas de Givoni y Olgyay u otros gráficos de comportamiento higrotérmico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parámetros de Uso. (Tipo y Duración de la Actividad, Nivel de ocupación, Tipo de ocupante, Energía aportada por las personas o sistemas, Renovaciones de aire, ventilación necesaria) ▪ Parámetros Edilicios. (Superficie y volumen habitable. Ubicación y tamaño de cerramientos opacos y transparentes. Factor de compacidad, forma y exposición. ▪ Resistencia y conductividad térmica de los componentes arquitectónicos, densidad, absorción de cerramientos, Carga térmica anual, Coeficiente Volumétrico de pérdidas térmicas "G". 	

Fuente: (Gustavo San Juan et al., 2013)

Según Rósenfeld Elías (San Juan et al., 2013) (i) el diseño **“Convencional”** debiera en primer instancia -en cuanto a un proceso formativo y de aplicación profesional- derivar en un diseño **“Cualitativamente correcto”**, derivando en criterios energéticos y ambientales conceptualizados de manera espontánea y preferiblemente consciente o racionalizado. Pero en la actualidad, en el marco de los desarrollos tecnológicos, en cuanto a conocimiento y técnicas específicas de pre-cálculo y cálculo, se debiera operar en lo que denomina diseño **“Cuantitativamente correcto”** a partir de la optimización de cada una de las decisiones proyectuales implementadas (Figura 1-5).

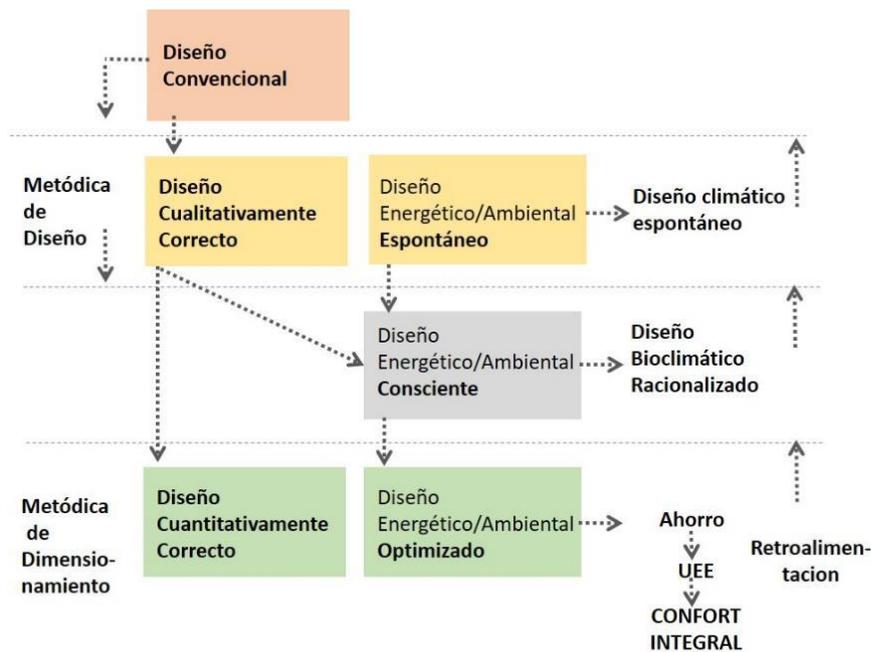


Figura 1-5: Relación entre el diseño convencional y el diseño bioclimático (E. Rosenfeld).
Fuente: (San Juan et al., 2013)

1.5 Recomendaciones de diseño para el trópico

En el marco del diseño bioclimático, esto implicará ahorro energético a partir del concepto de uso eficiente de la energía (UEE) y condiciones de confort integral, correctos. Pero podemos agregar que en la situación actual del paradigma sostenible, este concepto se amplía a la búsqueda de uso eficiente de todos los recursos materiales (UER) implicados en una obra, inclusive el uso de los edificios por parte de los destinatarios (Figura 1-5).

Entre la literatura especializada alrededor de la arquitectura y el clima, hay variedad de recomendaciones que desde la bioclimática se implica al diseño, como también al proceso o metodología para el diseño bioclimático. Por un lado, se encuentran las recomendaciones de diseño a nivel general basadas en condiciones climáticas de cada sitio. En estas, se recomienda tener en cuenta aspectos como la ventilación y la radiación solar, como aprovechamiento o protección según sea el caso. La mayoría de estos estudios corresponden a contextos con estaciones climáticas, en donde hay situaciones extremas de calor y frío (Serra, 1999). A continuación se presentan las principales propuestas metodológicas y de estrategias enfocadas a climas cálidos y tropicales.

1.5.1 Arquitectura y Clima: Victor Olgyay

Desarrolla un estudio sobre las prácticas tradicionales como proceso de depuración de materiales, estrategias y técnicas constructivas y bioclimáticas (Olgyay, 1963). Además, el modelo propuesto por el autor incorpora aspectos biológicos, meteorológicos e ingenieriles para una guía de edificios.

El rango de confort para una condición estándar de 1 = aislamiento de ropa **clo** (del inglés *cloting*) y actividad = 1 **met** (del inglés *metabolic rate*), se estima con una temperatura entre 20°C a 25°C y humedad relativa entre 20% hasta 55%, con velocidad de viento menor a 1m/s. Para humedades relativas más altas, el rango de confort abarca hasta el 80% dependiendo de la presencia de mayor velocidad de viento. La tolerancia a mayores temperaturas está dada por la posibilidad de mayor humedad en el aire.

En su libro Clima y Arquitectura en Colombia, Olgyay caracteriza tipos de clima cálido árido y húmedo. El método propuesto por él se basa en 4 temas principales: los datos climáticos, la evaluación biológica, soluciones tecnológicas de las cuales hacen parte la selección del sitio, orientación, sombra, forma, movimientos de aire, equilibrio de la temperatura y la aplicación arquitectónica.

En el capítulo dedicado a Cali, realiza la siguiente descripción climática:

El clima es muy especial. La media anual está en medio del confort, con periodos fríos y calientes durante el día, cruzándose tres veces la zona de confort. Los elementos climáticos también presentan cambios abruptos. Casi todos los días brilla el sol, con energía ardiente, en un firmamento semidespejado, en el cual el sol se mueve con la igualdad de un anillo dorado. Los vientos, al llegar, poseen volumen y fuerza. La lluvia no cae, se desgaja en furiosos aguaceros. Todos los elementos contribuyen a la orquestación climática más de los que uno espera y este responde con la suavidad de un tigre. (P.CA-2)

El Grafico bioclimático para Cali, muestra que la zona de confort se define por la temperatura promedio anual de 24°C (levemente menor a la actual de 24.8°C), la cual está definida entre 21.2°C y 26.8 °C con 1 de clo. Como se indica en la Figura 1-6, las temperaturas en algunos momentos del día alcanzan el confort, sin embargo, las temperaturas máximas exceden dicho rango, mientras las mínimas resultan por debajo del confort. El autor indica que las temperaturas máximas exceden las posibilidades de proveer confort por medio de ventilación cruzada. En estos casos, se debe recurrir además a bajar el clo a 0.5 y a medios arquitectónicos para proveer sombreo, equilibrio térmico por materiales, radiación de onda larga de baja temperatura y enfriamiento evaporativo.

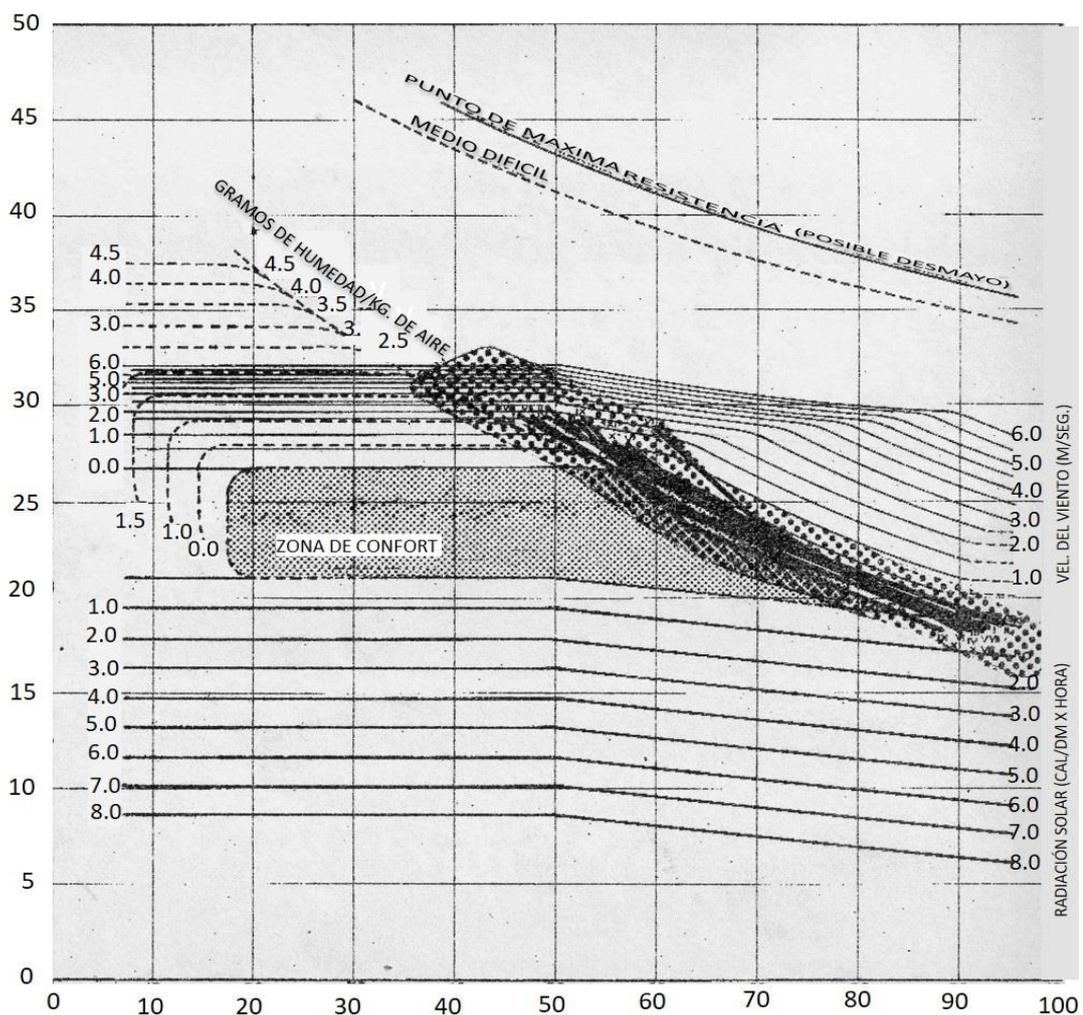


Figura 1-6: Diagrama de Victor Olgyay. Fuente: (Olgyay, 1963)

En la diagnosis fisiológica para Cali (Figura 1-7), se pueden observar las variadas necesidades, independiente del día y hora, pudiéndose leer de manera vertical. En este, se refleja que las

fluctuaciones diarias son más relevantes que las estaciones climáticas a lo largo del año, reflejado mayor importancia a las fluctuaciones diarias (vertical) que a los elementos climáticos estacionales, mínimos en este caso (horizontales). En el mismo gráfico se presenta cómo en un mismo día en Cali suceden tres momentos en la zona de confort, por ejemplo en el mes de mayo (línea roja): Hasta las 3 a.m./ entre 7 a 11 a.m. / y a partir de las 7:30 p.m. Por el contrario entre las 3 a.m. y 7 a.m. hay necesidad de calor: (área signo negativo) y, a partir de las 11 a.m. en adelante, se presenta necesidad de vientos horas salientes (signo positivo). Las recomendaciones de Olgay para Cali se fundamentan en: reducción de la producción de calor y de la radiación incidente; promover la pérdida de radiación, evitar la absorción de humedad e incrementar el movimiento del aire.

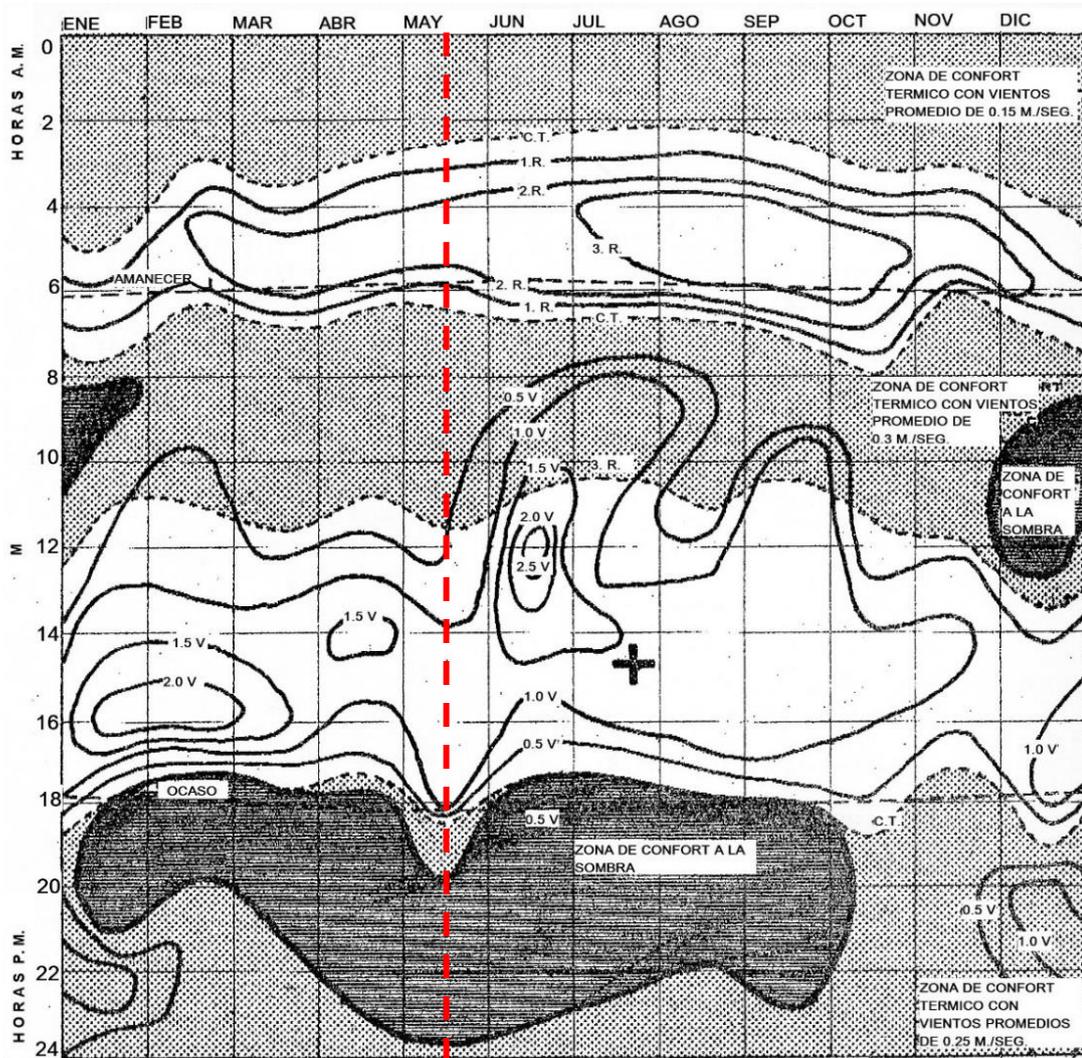


Figura 1-7: Diagnósis fisiológica para Cali. Fuente: (Olgay, 1963).

1.5.2 Momentos de bienestar y recomendaciones: Carl Mahoney

Mahoney, en conjunto con Königsberger y Martin Evans entre 1968 y 1971 (Koenigsberger, Mahoney, y Evans, 1973), desarrollaron la herramienta conocida como las “Tablas de Mahoney” basadas en estudios desarrollados por el autor en Nigeria. La propuesta se basa en identificar los momentos del día en bienestar, basado en una secuencia de análisis del clima a partir de parámetros específicos como la temperatura, la humedad relativa y las precipitaciones. Lo anterior, sirve de sustento para identificar estrategias pasivas generales como necesidad de humedad, ventilación, protección contra la lluvia, almacenamiento térmico, etc. Finalmente, se recomiendan estrategias específicas de diseño como, orientación, ubicación de los espacios, ventilación, tamaño de aberturas, sombreado, materialidad en muros y techos y algunas indicaciones sobre espacios al exterior.

1.5.3 Diagrama bioclimático: Baruch Givoni

El arquitecto Baruch Givoni publica el libro *Hombre, clima y arquitectura* en 1969, en donde presenta los principios de diseño para adaptar el edificio al clima, basados en tres recomendaciones básicas. La primera para atender la radiación como porcentaje que se puede absorber en función del color de los materiales, o porcentaje que también puede ingresar al espacio con o sin elementos de protección en fachada. La segunda, es la temperatura interior, la cual depende del color de los materiales, sombreado, ventanas y ventilación. Finalmente, la velocidad del aire y presión de vapor interior. Todas las recomendaciones se basan en porcentajes generales, que en el caso de la radiación no se precisan los elementos de sombreado, ni proporción de áreas vidriadas, o en el caso de la ventilación, se indican porcentajes de velocidad del aire.

La principal recomendación para el confort en edificios en el trópico es la ventilación constante, para incrementar la velocidad del aire, con lo cual estimular la pérdida de calor por la combinación de sudoración- evaporación, seguida de la orientación, el tamaño y localización de las ventanas y las características del entorno.

Teniendo como base el diagrama psicrométrico, Givoni desarrolló y presentó un gráfico de síntesis, con las zonas de confort para invierno y verano y los rangos o zonas en que diferentes estrategias pasivas, son efectivas al momento de alcanzar el confort higro-térmico en un espacio. En el eje “X” (abscisas) están las temperaturas de bulbo seco y en el eje “Y” (ordenadas) la tensión parcial de vapor de agua contenido en el aire. La humedad relativa está representada en las líneas curvas (Givoni, 1969). La propuesta de Givoni ha servido de base a cartas psicrométricas basadas en las condiciones climáticas propias de cada lugar, (Figura 1-8)

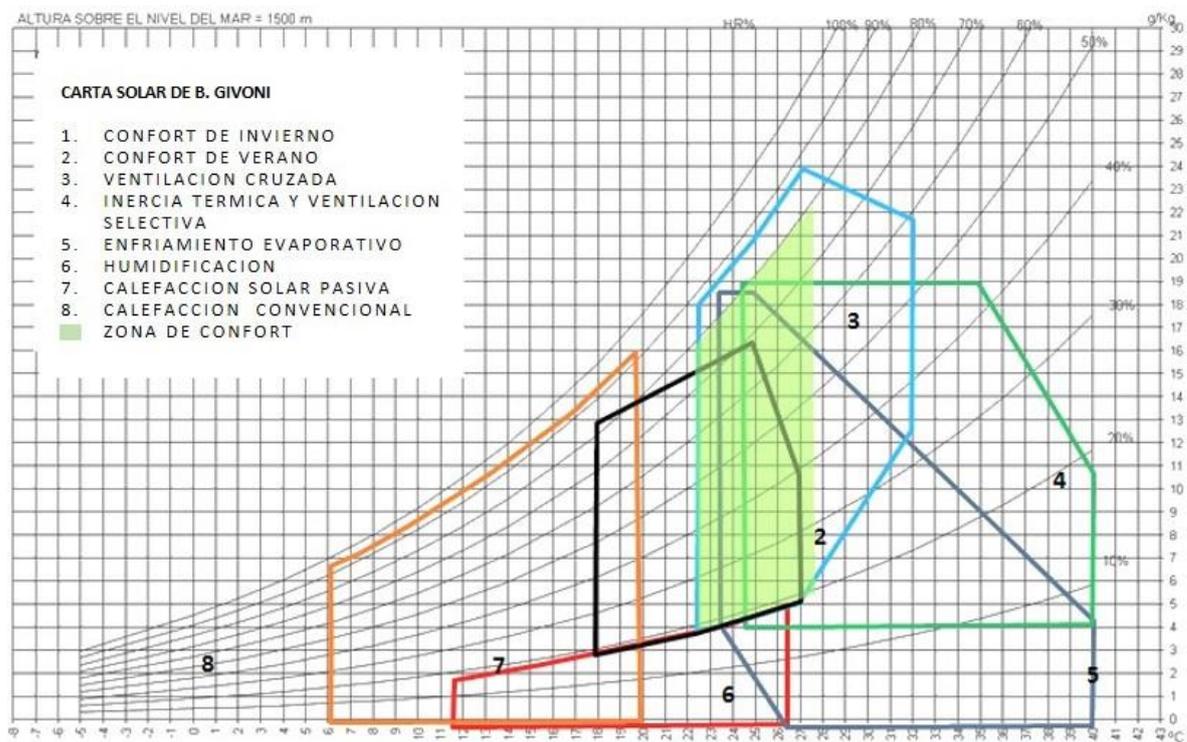


Figura 1-8: Carta psicrométrica para lugar de 1500msnm. Fuente: Climograma Ibagué, Colombia. (G. San Juan et al., 2014)

1.5.4 Las viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales

En 1977 los autores **Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew y Szokolay**, publican su trabajo con enfoque en determinados climas de interés para el presente estudio (Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, & Szokolay, 1977) . En este, proponen el estudio del clima y el confort, para abordar los principios de diseño y control para el confort térmico, luz e iluminación y por último, el ruido. A pesar que la caracterización del clima cálido seco no corresponde con las situación de Cali, ya que los autores describen un clima más extremo, con temperaturas durante el día

entre 27°C a 49°C, con descensos nocturnos hasta 22°C, se retoman estas recomendaciones, debido a que las otras clasificaciones de los climas cálidos, tampoco corresponden al clima de Cali.

Las principales estrategias se enfocan a la reducción de la radiación solar de las áreas aledañas, básicamente a través de la protección. Para el aprovechamiento de la ventilación cruzada, se debe evitar el ingreso de los vientos calientes y secos, siendo necesario enfriar y filtrar el aire. La forma para la edificación más adecuada es la compacta con pocas aberturas y con envolvente con capacidad térmica, las fachadas con superficies más extensas orientadas al norte y sur y los servicios orientados hacia el oeste, hacia donde se presentan las más altas temperaturas.

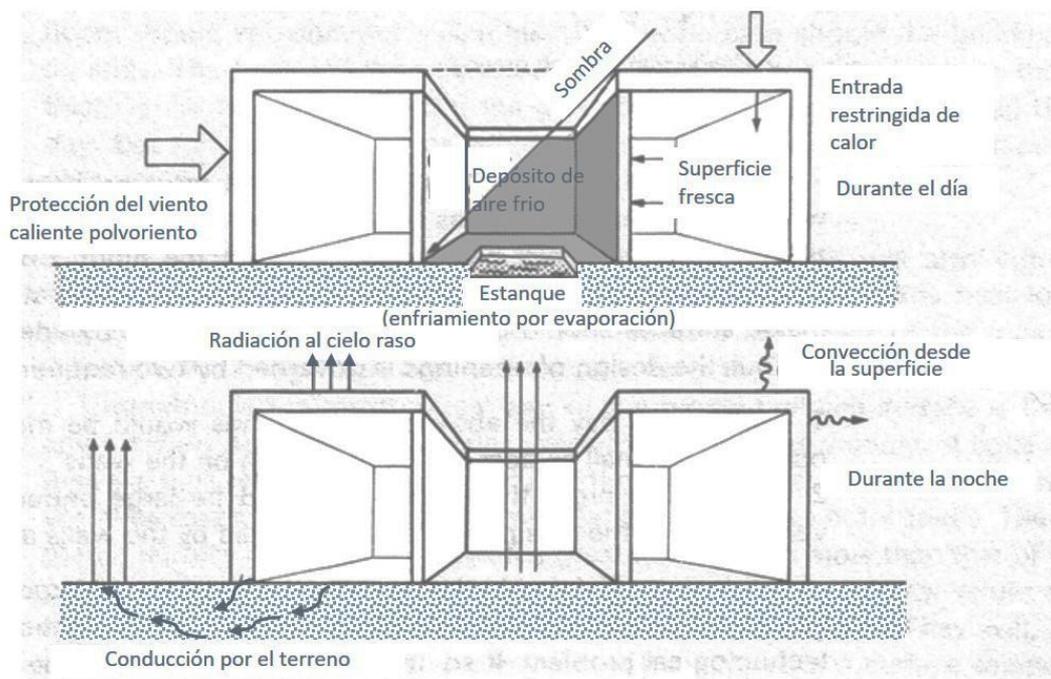


Figura 1-9: Sistema térmico de una casa pequeña con patio.
Fuente:(O.H. Koenigsberger et al., 1977)

1.5.5 Diseño en climas cálidos: Allan Konya

Por otro lado, autores como **Konya** en su libro Diseño en climas cálidos de 1980, centra el análisis en las recomendaciones propias para climas cálidos con diferentes variaciones. Como metodologías de diseño resalta las de Olgyay y Mahoney, indicando a través del diagrama del primero y las tablas del segundo, recomendaciones generales de diseño. En su texto Konya, hace un análisis de la variación de los aspectos como temperatura, humedad, precipitación,

radiación solar y vientos en cada una de las situaciones del clima cálido; como también menciona los problemas que afloran en dichos contextos como las termitas, el polvo, el granizo y las tormentas tropicales. Hace un análisis de las condiciones de los materiales, no sólo desde sus características térmicas, sino acerca de la disponibilidad y durabilidad, aspectos importantes en climas cálidos. Es así que presenta los materiales naturales, caña, hojas, hierbas y barro, como los de mayor disponibilidad.

Las recomendaciones incluyen además de los materiales, sistemas de cimentación y uso de energía solar a partir de criterios generales. Al final del libro, presenta una serie de cálculos para la resistencia, transmitancia, radiación, ganancia o pérdida de calor, las cuales se enuncian, sin embargo, no se aplican sobre un ejercicio específico. Específicamente para el clima cálido seco y húmedo se mencionan recomendaciones referidas a una adecuada distribución y forma de los edificios para promover el flujo del aire. También hace alusión a la localización de los espacios de permanencia y galerías en relación con la radiación solar, enfatizando en todas, la necesidad de proveer sombra a la envolvente y a las superficies exteriores Figura 1-10.

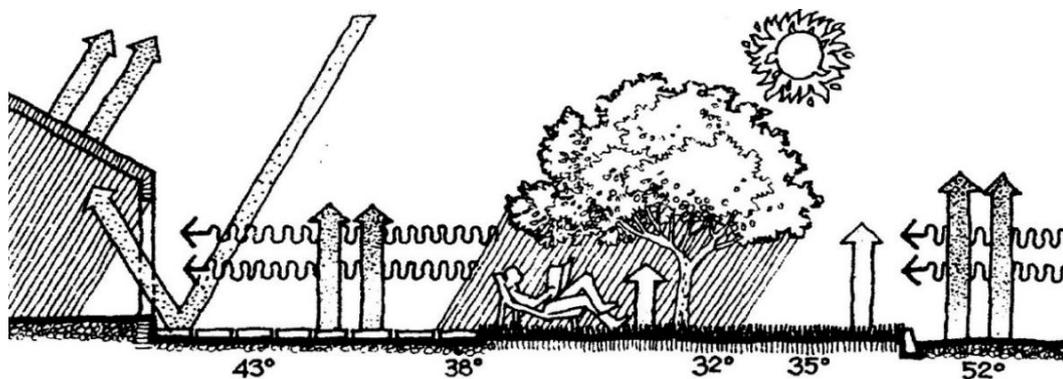


Figura 1-10: Temperaturas registradas en clima cálido seco. Fuente: (Konya, 1980)

El autor desarrolla el tema de la luz del sol y resol, planteando el reto existente entre proteger el espacio del calor, sin perder la suficiencia lumínica, y en la misma línea de Schiller y Evans, alerta sobre la gran cantidad de luminosidad derivada de la luz difusa, producto del tipo de cielo con gran nubosidad, propio de los climas cálidos húmedos. Para esto, la principal recomendación son los grandes aleros y pórticos para ocultar parte del cielo, delgados muros y envolventes en fibras móviles según la hora del día, *para pasar una luz de características correctas mientras que se elimina por completo el deslumbramiento y dan privacidad* (Konya,

1980, P. 56) (Figura 1-11). También desarrolla recomendaciones frente a problemas climáticos cómo la condensación, granizo, tormentas tropicales y sismos, entre otros.

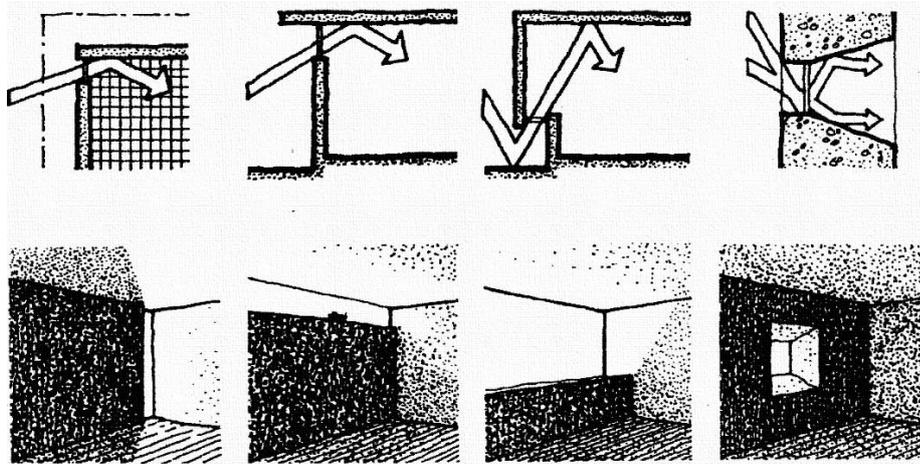


Figura 1-11: Diseño de ventanas en clima cálido seco. Fuente: (Konya, 1980)

1.5.6 Diseño bioambiental y Triángulos de Confort: Martin Evans y Silvia de Schiller

El proceso de diseño propuesto por **Evans** y de **Schiller** (Evans y Schiller, 1991) está basado fundamentalmente en el aprovechamiento y protección frente al sol, en función de cálculos de los ángulos solares, a través de los diagramas solares y de sombras. También realizan un amplio análisis de captación de la radiación solar para paneles y colectores solares. En cuanto a los materiales, presentan análisis de la absorción, la resistencia y el coeficiente de transmitancia térmica. Como parte del diseño bioambiental desarrollado en el CIHE ⁽¹¹⁾, la herramienta de los triángulos de confort incorpora la amplitud térmica para el acondicionamiento interior de los edificios (Evans, 2007), superando la visión estática del confort bajo la temperatura media. Para actividades sedentarias el rango permisible se encuentra entre 18°C y 28°C Figura 1-12. En la gráfica, el eje "X" corresponde a la temperatura

¹¹ **Centro de Investigación en Hábitat y Energía-CIHE**, de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo-FADU, Universidad de Buenos Aires-UBA. Establecido en 1990 por los arquitectos Silvia de Schiller y John Martin Evans para desarrollar investigación en temas de sustentabilidad, hábitat construido, tanto en la escala arquitectónica como en la urbana y regional.

media y el “Y” a la oscilación térmica mensual, cuyo resultado es una serie de puntos en los que se estará a lo largo del año. También se define en la carta la actividad (vivienda) y las estrategias para mejorarlo (Evans, 2007).

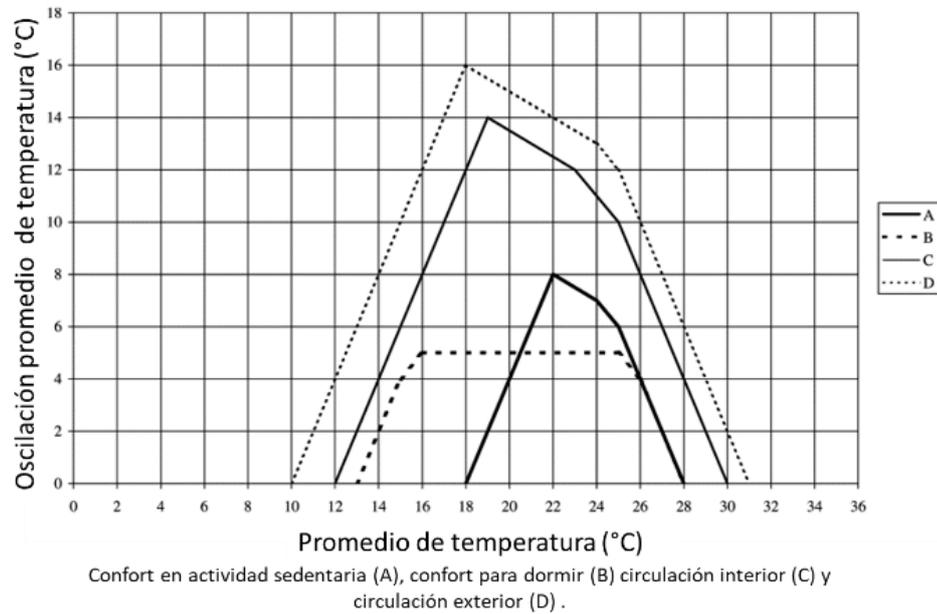


Figura 1-12: Triángulos de confort. Fuente: Evans (2007)

Entre las principales estrategias, se encuentran la ventilación cruzada, selectiva o nocturna, la inercia térmica, la ganancia solar y el muro acumulador de calor, explicadas en detalle y las mejores condiciones higro-térmicas para su aplicación (Figura 1-13).

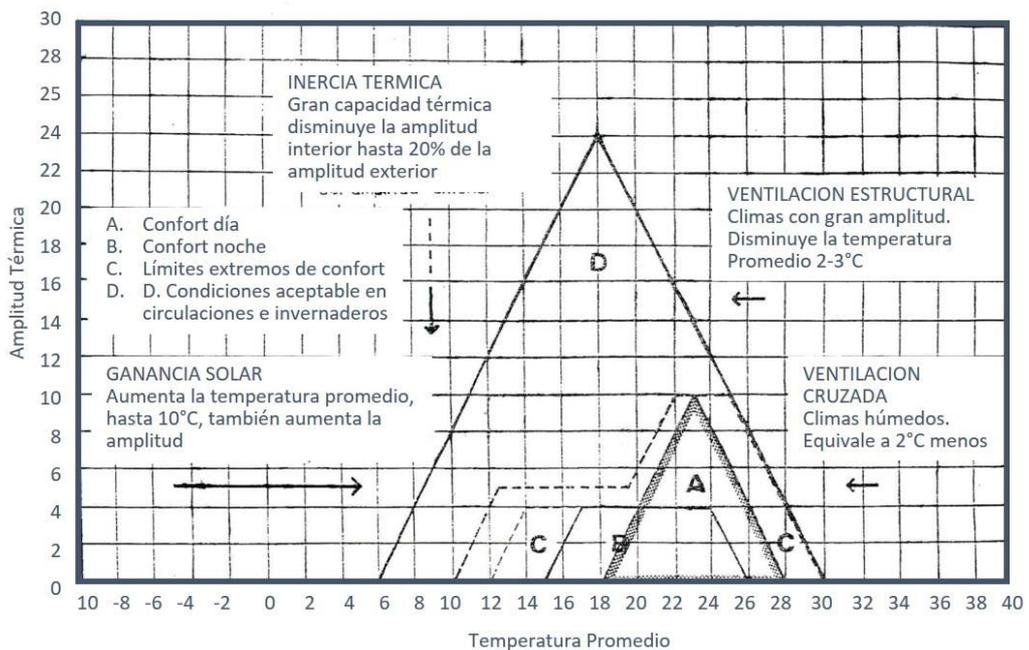


Figura 1-13: Triángulos de confort y estrategias para el confort. Fuente: (Evans y Schiller, 1994)

Los autores también argumentan estrategias de la agrupación de edificios para el confort (Figura 1-14), además de recomendaciones sobre estrategias de diseño, encaminadas al confort visual, dependiendo del tipo de clima. Para el clima ecuatorial se caracteriza el tipo de cielo y el potencial de luminosidad, indicando la suficiencia de la misma para ser aprovechada al interior de los espacios de manera indirecta para evitar brillos molestos (Figura 1-15). Otra recomendación es la de ubicar las aberturas de baja altura (15° por encima y debajo del horizonte), además de elementos que controlen el ingreso de sol directo como aleros y celosías .

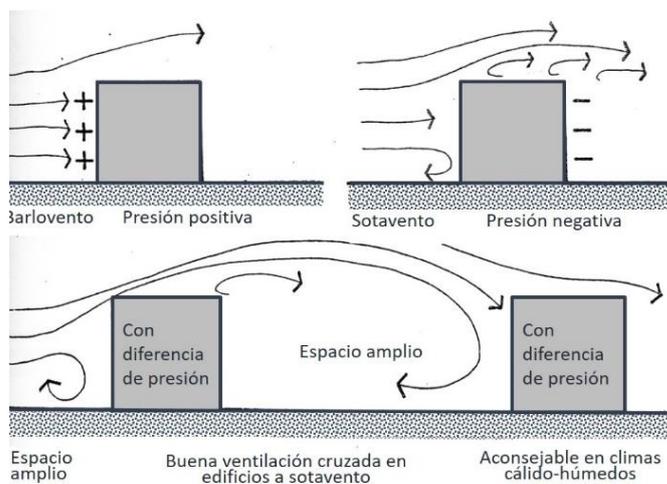


Figura 1-14: Espacio entre edificios para lograr ventilación cruzada

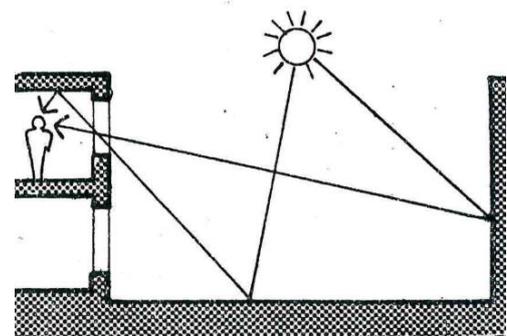


Figura 1-15: Reflejo producido por superficies claras

Fuente: (Evans y Schiller, 1988)

1.5.7 Arquitectura y Climas: Rafael Serra Florensa

Otro de los autores que enfocaron parte de su desarrollo en climas tropicales, fue el español Rafael **Serra** (Serra, 1999) el cual realiza una caracterización por tipo de climas. Desarrolla el tema de la luz, en donde aborda la radiación y su potencial térmico y lumínico y fenómenos como el deslumbramiento, el color y su capacidad de absorber o reflejar la luz. De manera posterior, el análisis se centra en la radiación y los efectos térmicos en el ambiente interior y los fenómenos de transferencia de calor y ventilación al exterior e interior de un espacio (Figura 1-16).

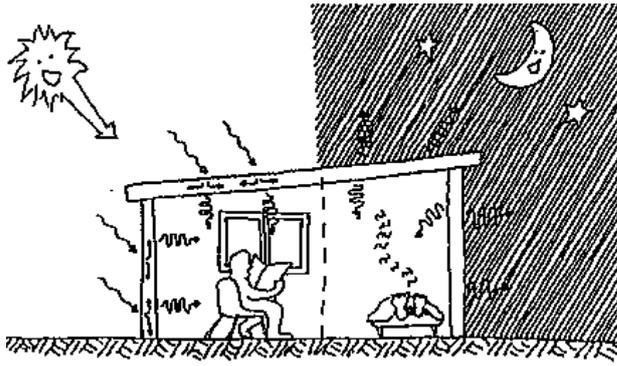


Figura 1-16: Ganancia y pérdida de calor por radiación

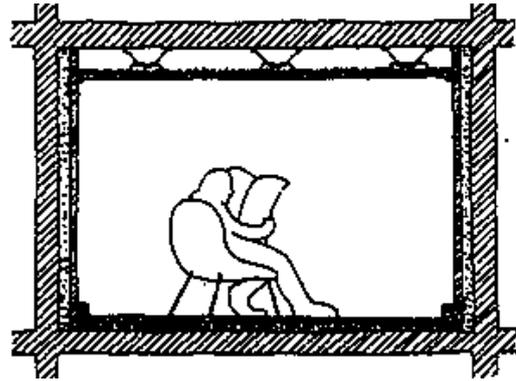


Figura 1-17: Superficies con absorbentes acústicos

Fuente: (Serra, 1999)

Además, estudia los efectos del sonido en el espacio y establece condiciones para el diseño de espacios silenciosos. Para esto, se recomiendan tres estrategias básicas. La primera, con respecto a la ubicación del edificio en donde se definen zonas y elementos de protección frente a ruidos del exterior. La segunda es la corrección del entorno por medio de barreras que pueden ser espacios de transición, vegetación y otros. Finalmente, la forma del edificio es la tercera estrategia para buscar la mínima exposición de los espacios al ruido. Otras estrategias propuestas son la ubicación de los espacios por la compatibilidad de actividad y la caracterización de sistemas de protección y pantallas acústicas, como elementos salientes, muros dobles, y suelos flotantes entre otros (Figura 1-17).

1.5.8 Laboratorio de Diseño Bioclimático: UAM-Azacapozcalco

En la Universidad Autónoma Metropolitana-Azacapozcalco (México), se propone una metodología que integra el desarrollo de Olgay y Szokolay, compuesta por 7 componentes: el primero es el análisis del sitio y entorno (clima, factores determinantes del clima y factores artificiales); el segundo, el medio artificial (antecedentes arquitectónicos, infraestructura y equipamiento y el medio social cultural); como tercer componente está el usuario (necesidades y confort); en el cuarto esta la definición de las estrategias de diseño para la climatización, iluminación, acústica y control de contaminantes; el quinto permite la definición de los conceptos de diseño; sexto es el anteproyecto; séptimo la evaluación de lo planteado y por último, el octavo, el proyecto arquitectónico (Freixanet, 1999).

Se establecen recomendaciones por tipo de climas cálido, cálido seco y húmedo siendo las estrategias comunes: aislamiento de calor y protección solar. Luego la ventilación natural se propone para el cálido y cálido húmedo (evitar en el seco); y finalmente las estrategias comunes al cálido y cálido seco son: ventilación forzada, enfriamiento evaporativo y sistemas radiativos.

1.5.9 Manual de arquitectura bioclimática: UNT

El Dr. Guillermo Gonzalo, en la Universidad Nacional de Tucumán (Argentina), presenta los métodos más utilizados para definir las pautas en el diseño de los edificios. El primero, es el análisis de los datos climáticos para establecer las estrategias generales y las pautas específicas para cada lugar, a partir del diagrama psicrométrico, que en el caso de Argentina, se desarrolló un gráfico de cada ciudad principal (Gonzalo, 2003).

También se indica el método de Mahoney y Olgyay, complementado con una serie de herramientas desarrolladas por Gonzalo y su equipo, a partir de plantillas en formato Excel de gran utilidad para identificar las estrategias más efectivas al momento de proporcionar confort.

De manera adicional, se presentan herramientas para calcular promedios climáticos de temperatura, humedad relativa y vientos, como también las ganancias térmicas en las diferentes superficies y elementos de la envolvente.

El diseño de la iluminación natural, se basa en el análisis de los ángulos solares para asegurar el adecuado planteamiento de ventanas, claraboyas y demás elementos de iluminación indirecta, lo cual se puede apoyar en la herramienta para el pre dimensionamiento de aberturas. El último capítulo, presenta las estrategias para el enfriamiento natural de edificios (Figura 1- 18 y Figura 1 -19).

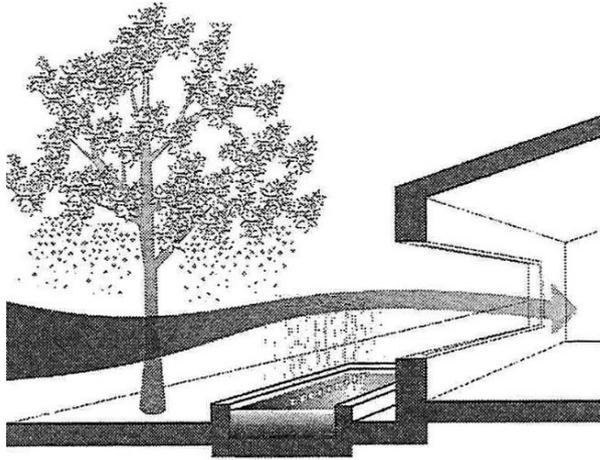


Figura 1-18: Enfriamiento evaporativo directo

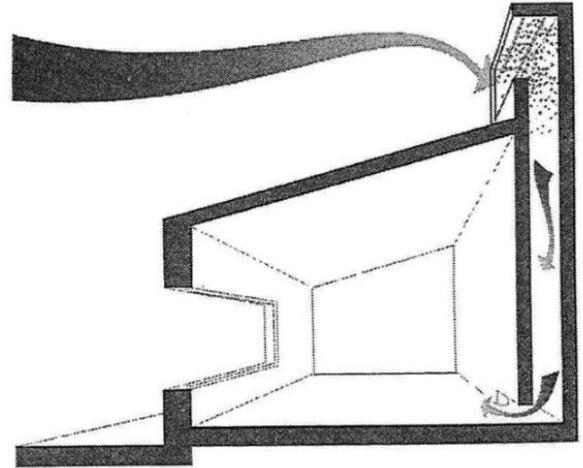


Figura 1-19: ventilación por torre evaporativa

Fuente: (Gonzalo, 2003)

En general, las diferentes propuestas de estrategias bioclimáticas para los climas cálidos, desarrolladas por los distintos autores, se basan en la ventilación y protección frente a la radiación. Otros autores, avanzan en la incorporación la masa térmica y otras estrategias pasivas, hasta desarrollos más contemporáneos en donde se realiza una caracterización de cada elemento de la envolvente, de los fenómenos de ventilación, ángulos solares, etc.

Desde las propuestas más generales como las de Olgyay basada en la ventilación, radiación y humedad, hasta las más detalladas como las Evans y de Schiller y Guillermo Gonzalo, presentan una variedad de alternativas a aplicar, en las que -con excepción de algunos casos puntuales- queda indeterminado si se alcanza el confort o no con la estrategia aplicada, o cuántos grados centígrados se logra reducir en los momentos más críticos del día.

Todo lo anterior evidencia la inquietud y complejidad en las recomendaciones de diseño bioclimático, en este caso, para climas cálidos y en la necesidad de que progresivamente se incorporen en el proceso de diseño criterios ajustados a normativas específicas, así como simulaciones en estado estacionario y dinámico.

1.6 CONTENIDOS DE LOS CAPITULOS

La tesis presentada se desarrolla en cinco partes:

Parte 1. MARCO PROBLEMÁTICO-CONCEPTUAL

Del problema de la investigación

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Contiene el marco problemático en donde se plantea el tema, el problema de la investigación y el enfoque ambiental en colegios. También se desarrollan las principales metodologías de diseño bioclimático y estrategias para alcanzar el confort en climas cálidos.

Parte 2: CONTEXTO DE PERTENENCIA

De las consideraciones sobre el objeto de estudio y su contexto

Capítulo 2: LA ARQUITECTURA ESCOLAR

Recorrido por los principales momentos de la arquitectura escolar en el panorama internacional, en Colombia y en Santiago de Cali.

Capítulo 3: LA NOCIÓN DE CONFORT EN CLIMAS CÁLIDOS

Desarrollo de los temas que componen el confort integral en la investigación como el confort térmico, visual y auditivo, a partir de las principales líneas de pensamiento hasta los desarrollos más actuales del tema en general y específico sobre el confort en colegios. Posteriormente, se presentan los temas de comodidad consignados en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595, la cual orienta el diseño de ambientes escolares.

Capítulo 4: CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA

Presentación de las características ambientales y climáticas de Santiago de Cali, ciudad en donde se encuentran los cuatro casos de estudio.

Parte 3: DESARROLLO OPERATIVO

De cómo se abordó el problema

Capítulo 5: METODOLOGÍA PARA ABORDAR EL PROBLEMA

Abarca el universo de análisis y los casos de estudio, además desarrollo de la Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario-APPU y de cómo se abordó el análisis de confort térmico, visual, auditivo, al igual que la ponderación realizada para la evaluación de la norma NTC 4595. Se presenta además, los procedimientos y casos bases para la comprobación de los estados anuales de las estrategias validadas.

PARTE 4: RESULTADOS

Sobre la situación observada, registrada y percibida

Capítulo 6: ANALISIS DE LA AUDITORIA AMBIENTAL DE PERCEPCION DEL USUARIO

Desarrollo desde los componentes de la auditoria: subjetivo (basado en las encuestas) y objetivo (basado en las mediciones térmicas, visuales y auditivas.

Capítulo 7: NORMA NTC 4595: CUMPLIMIENTO Y CONFORT

Análisis del cumplimiento de las recomendaciones de diseño propuestas por la norma, su relación con el confort analizado a través de la AAPU.

PARTE 5: DESARROLLO CONCLUSIVO

De la síntesis y el debate

Capítulo 8: ESTRATEGIAS DE DISEÑO

Análisis de las recomendaciones para clima cálido y específicamente para Cali, realizadas por distintos autores. Se presenta en detalle la exploración de las del desempeño anual de las estrategias de diseño en los temas térmico, visual y auditivo para la situación de Cali y las recomendadas por la norma. Finalmente, se integran los temas anteriores, con la metodología del proceso de diseño basado en la literatura del tema y en las entrevistas realizadas a los actores claves.

Capítulo 9: CONCLUSIONES

Un gran componente de las conclusiones es el conocimiento generado a través de la investigación como aporte a (i) la norma colombiana NTC 4595, (ii) a la metodología y técnica de la arquitectura escolar, (iii) a los profesionales y por último a (iv) los gestores del sector educativo. Otro de los componentes, se basa

en las pautas de diseño para aulas del trópico, la validación de metodologías, técnicas y herramientas actualizadas de simulación, como también en la generación de índices e indicadores. Por último, el componente sobre las condiciones de confort y buenas prácticas, para presentar las limitaciones del trabajo, los temas por desarrollar y las líneas de desarrollo a futuro.

PARTE 2:

EL CONTEXTO DE PERTENENCIA

Sobre el objeto de estudio y su contexto

CAPITULO 2

2 LA ARQUITECTURA ESCOLAR

2.1. La situación internacional

La educación ha estado presente en todos los momentos de la sociedad, sin embargo, es hasta el siglo XIV en donde comienzan a construirse en occidente, espacios en las condiciones adecuadas para la actividad de pedagógica, ya que hasta entonces, se usaban espacios como graneros o iglesias, sin el acondicionamiento, ni las condiciones de ventilación o de iluminación adecuadas (Figura 2-1 y Figura 2-2).



Figura 2-1: "The Schoolmaster". Autor: Jan Steen



Figura 2-2: "The Classroom", 1872. Autor: Théodore Bernard de Heuvel.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/>

El gran auge de la enseñanza primaria, ocurrió en 1763 con la instauración de la Escuela Elemental Obligatoria incorporada por Federico el Grande de Prusia. Es sólo hasta principios del siglo XIX, con los avances en la democracia y el derecho al voto universal, cuando se impulsó la necesidad del saber leer y escribir.

Si bien a lo largo de la historia de la humanidad se han destinado numerosos edificios a la educación, recién en este siglo, como lo indica Ramirez (2009), aparece el término *arquitectura escolar*, acompañando un tratado escrito por Henry Barnard en 1838 (EEUU, 1811-1900). En el mismo periodo, en 1874, E. Robson, arquitecto del Consejo Escolar de Londres, publica el libro sobre arquitectura escolar (Robson, 1874), donde establece las primeras pautas de diseño para mejorar el confort y la habitabilidad de los nuevos edificios dedicados a la educación.

A principio del siglo XIX, hay novedosas propuestas que impulsan un nuevo pensamiento y formas de educar, basadas en las ideas de Rousseau en Francia en donde se reconoce al niño como un ser independiente diferente al adulto: la idea sobre la autonomía del niño desarrollada por Pestalozzi en Suiza, la importancia del juego sostenida por Froebel en Alemania y el aprendizaje centrado en aquello que interesa desarrollado por Herbart en Alemania; producen un avance importante en la educación del hombre y en los nuevos espacios escolares (Avilés, 2009).

Es sólo, hasta comienzos del siglo XX, en donde el espacio escolar es el escenario de encuentro de diferentes disciplinas como la sociología, la psicología, la pedagogía y la arquitectura, reconociendo la importancia de la relación entre pedagogía y entorno físico como determinantes en el proceso formativo del niño. Estas relaciones comienzan a poner en cuestión los espacios áulicos tradicionales, la organización tradicional través de filas e hileras, hasta los métodos de enseñanza (Figura 2-3 y Figura 2-4).



Figura 2-3: Aula típica en Rusia.

Fuente:<https://www.rbth.com/history/330905-russian-gymnasium-school-education>



Figura 2-4: Aula en Oklahoma. Autor: Wolfgang Sauber. Fuente:<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f8/>

Luego de la Primera Guerra Mundial, se comienzan a revisar en profundidad los métodos y prácticas de la actividad educativa. La crisis general, marcada por la escasez de mano de obra, el costo constructivo excesivo y el deterioro ocasionado en las ciudades, hacen que se planteen nuevas técnicas para planificar y ordenar los núcleos urbanos donde se incluye la reestructuración de la escuela. Surgen así, esquemas organizativos “abiertos” como se muestra en las Figura 2-5 y Figura 2-6, conocidos como *open air school* (Wu & Ng, 2003), conectando al alumno en principio literalmente con el exterior, para promover el contacto con el sol directo y evitar enfermedades.



Figura 2-5 Modelo “open air school”, colegio Goethe década del 50.

Fuente:<https://www.vs.de/schulmuseum/en/detail/160>

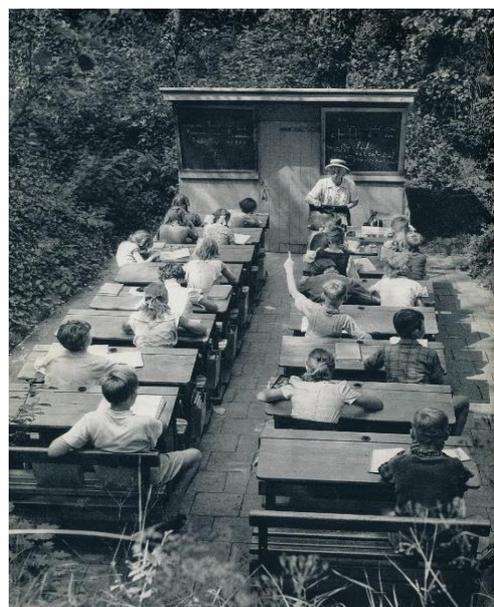


Figura 2-6: Modelo “open air school”, Holanda 1957.

Fuente:
<https://images.app.goo.gl/mGXCsuSQXMx7WFXi6>

Las nuevas tecnologías permiten también cambiar las formas y dimensiones del aula. Aparecen entonces, mayores superficies vidriadas que favorecen el ingreso, permitiendo mayor ingreso de luz y ventilación natural, reemplazándose la monumentalidad previa, por espacios adecuados a la escala del alumno (Figura 2-7 y Figura 2-8).



Figura 2-7: Aula en Suresnes en París.

Fuente:<https://thousandthfastest.wordpress.com/2018/10/10/interesting-things-ive-discovered-biking-around-paris-1-the-suresnes-open-air-school/>



Figura 2-8: Edificio de aulas en Amsterdam 1930.

Fuente:<https://www.messynessychic.com/2016/03/15/classrooms-without-walls-a-forgotten-age-of-open-air-schools/>

Posteriormente a la Segunda Guerra Mundial, en Europa, la explosión demográfica y la revolución tecnológica hacen de la escuela un organismo cambiante que se adecúa a las necesidades socio-económicas. Se produce una revolución educativa con el traspaso de la “educación informal a la formal” y se comienzan a realizar estudios especiales e investigaciones para adecuar los espacios a las nuevas pedagogías y a los materiales ofrecidos por la técnica, mediante la flexibilización y adaptación de los espacios áulicos (Figura 2-9 y Figura 2-10).



Figura 2-9: Escuela Titus Brandsma, Nagele. Aldo Van Eyck. 1957.

Fuente: <https://www.suzannefischer.nl/?p=8>



Figura 2-10: Aula del colegio Corona, 1935. Richard Neutra. Los Ángeles, California.

Fuente: <https://www.juliusshulman.org/Julius-Shulman-Kester-Ave-Elementary-School-Richard-Neutra1951-Job-1035-2.htm> 24/10/2019

En el panorama internacional, la crisis del petróleo de 1970 derivó en colegios con menores áreas de ventanas, con el fin de evitar al máximo el ingreso de radiación solar y disminuir la ganancia de calor. Como indican Wu & Ng (2003), este modelo implicó el uso de equipos de climatización, con consecuencias en la percepción y aprendizaje de los estudiantes.

Hacia 1980, en Inglaterra se permitió el ingreso de la luz solar a través de cuidadosos controles en la fachada y en 1990 comienzan a aparecer proyectos con el uso de energía solar (Department for Education., 1994).

En la misma línea, corrientes convergentes de la arquitectura regionalista y los aportes del high-tech, trabajan en la búsqueda del confort interior y exterior, como también en el diseño de edificios energéticamente eficientes, apelando al diseño de espacios con iluminación y ventilación adecuada y, a la conformación de espacios con otras dinámicas para el aprendizaje, con características de espacios colaborativos (Figura 2-11 y Figura 2-12).



Figura 2-11: Colegio Manor (2018). Fuente: <https://www.rockfon.com/about-us/articles-and-insights/2018/high-tech-middle-school-features-rockfon-ceilings-for-vibrant-student-hub/>



Figura 2-12: Colegio vocacional Herwig Blankertz. Fuente: <https://inhabitat.com/german-armory-transformed-into-stunning-solar-school/>

Arquitectos como Norman Foster (UK), Alexander Tombazis (Grecia), Short Ford y Simos Yannas (UK), Albertich Sotomayor y Lopez de Asiaín (España), entre otros, aportan a la producción bioclimática internacional en función de proyectos arquitectónicos, donde el cálculo y la simulación son parte del proceso de diseño.

Este abordaje, ha permeado a la arquitectura escolar en América Latina, con ejemplos como la Escuela sustentable No. 294 en Uruguay en donde se retoma en el diseño el aporte de la energía del sol, viento, agua y tierra

Figura 2-13), o el caso de la escuela Manuel Anabalón en Chile en donde el diseño se apoyó en la simulación energética para lograr mayor eficiencia en el edificio, con el máximo aprovechamiento de la luz natural, como se muestra en la Figura 2-14.



Figura 2-13: Escuela sustentable en Jaureguiberry, Uruguay. Fuente: https://www.premioslatinoamericaverde.com/proyectos/una_escuela_sustentable_2017



Figura 2-14: Escuela Manuel Anabalón, Chile. Fuente: <https://arqa.com/arquitectura/escuela-manuel-anabalón-saez-ex-ernesto-pinto-panguipulli.html>

Países como Argentina, cuentan con gran profusión de colegios con énfasis bioclimático y sustentable, en donde además de aprovechar los recursos naturales para proporcionar condiciones adecuadas de confort, se busca la eficiencia energética. En gran parte de estos proyectos, participan investigadores y expertos en bioclimática y energía, con el fin de lograr mejores aprovechamientos con cada nueva propuesta (Figura 2-15 a la Figura 2-18).



*Figura 2-15: Jardín de Infantes N° 929, La Plata, Buenos Aires Argentina.
Fuente: Acevedo S. DGCE-DPI, 2007*

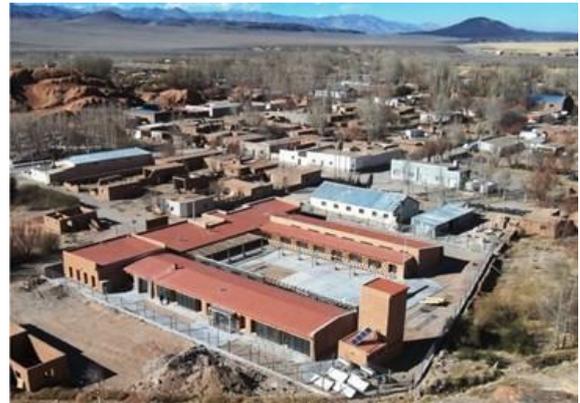


Figura 2-16: Escuela bioclimática secundaria N°39. Walter E., Arguello M., Watkins M.G. Antofagasta de la Sierra, Catamarca, Argentina. Plan 700 Escuelas, Fuente: MOP-UEPEIE, Dirección de Infraestructura Escolar. 2012



Figura 2-17: Escuela E.G.B.3. Catriló, La Pampa, Argentina. Filippín, Beascochea. MCE La Pampa-CONICET. Fuente:http://www.arqsustentable.net/ejemplos_catrilo.htm



Figura 2-18: Escuela Rural, Petroleros del Sur, Malargüe, Mendoza, Argentina. LAHV-CRICYT-CONICET, 1990

2.2. La arquitectura escolar en Colombia

La mirada de la arquitectura escolar en Colombia, se enfoca en los edificios públicos que son reflejo de la política en el país, construyéndose una cronología basada en las instituciones estatales. A finales del siglo XIX se promovió en Colombia, la creación del Ministerio de Instrucción Pública (Ministerio de Educación), a través de la Ley 10 del 25 de marzo de 1880.

Unos años más tarde, en 1886, se firmó el Concordato de la Santa Sede, por el cual se reconoce a la religión Católica como la religión oficial y se consolida su hegemonía pedagógica en el país. En estos años también se materializa el vínculo entre el conocimiento científico y el saber artesanal, especialmente a cargo de la comunidad religiosa Salesiana, quienes crean las Escuelas Técnicas (Maldonado, 1999).

El modelo educativo a partir de 1800 hasta 1930, estuvo enmarcado en el estilo colonial y neocolonial, representado en el colegio Santa Librada de Cali, el más antiguo de la ciudad, fundado en 1823 y el cual comenzó a funcionar en las instalaciones de un convento. La característica formal, es la de una envolvente con masa térmica gruesa, compuesta de barro, con aberturas mínimas; como también, de amplios corredores para proteger de la radiación solar (Figura 2-19 y Figura 2-20).



Figura 2-19: Colegio Santa Librada Cali, 1823, sede original

Fuente: <https://www.elpais.com.co/multimedia/fotos/colegio-de-santa-librada-imagenes-de-una-vida-de-190-anos.html>



Figura 2-20: Colegio Santa Librada Cali, sede actual

Fuente: <https://www.compartirpalabramaestra.org/actualidad/noticias/continuan-obras-de-salvamento-en-el-colegio-santa-librada>

Con fuertes influencias de Francia e Inglaterra, los colegios promovidos por las comunidades religiosas que se instalaron en el país, se construyeron de acuerdo a infraestructuras tipo claustro. Colegios como la Sagrada Familia, en Cali en 1907 (Figura 2-21), y el colegio Biffi La Salle de Barranquilla en 1896 (Figura 2-22), son representativos de esta época. Algunos de estos colegios sufrieron daños producto de las guerras civiles en el país. La envolvente edilicia disminuye en su espesor, aumenta la altura y el tamaño de aberturas.



Figura 2-21: Colegio Sagrada Familia (1907).
Fuente: <http://www.cali.gov.co/publicaciones/138525/promoto>



Figura 2-22: Instituto Biffi La Salle (1896). Barranquilla.
Fuente: <http://www.revistacredencial.com>

En los años siguientes el lenguaje que predominó fue el neoclásico y el republicano, que representó lo moderno con mayor escala, espacialidad y racionalidad tomándose distancia de las construcciones de tradición Colonial. Estos colegios se encuentran en lotes de la ciudad, bajo tipologías que aseguraban mayor ingreso de luz y ventilación, además de contar con jardines y patios como se presenta en la Figura 2-23 y Figura 2-24.



Figura 2-23: Colegio Cárdenas de Palmira.
Fuente: <https://www.facebook.com/leCardenasCentroPalmira>



Figura 2-24: Colegio Policarpa Salavarrieta (1896).
Barranquilla.
Fuente: <http://bogotaenbogota.blogspot.com/>

Hacia 1930, se enfatiza el edificio, como imagen de educación escolar pública y como parte del proyecto “educación en marcha”, basada en el manual de diseño escolar de 1934, como política estatal (Molina, 2018). Estos edificios se organizaron con tipología en naves, localizados en terrenos que permiten la presencia de patios amplios que favorecen la ventilación e iluminación natural, organizados a partir de módulos edilicios para facilitar el proceso constructivo y los costos de mantenimiento.

Derivada de la reflexión entre espacio educativo y lugar y, como resultado de las propuestas inspiradas en los principios higienistas, en el año 1900, se pasó de la idea de colegio-claustro a colegio-pabellón, dando prevalencia a las condiciones climáticas, lumínicas, de ventilación y de paisaje, prevaleciendo las consideraciones sanitarias sobre las arquitectónicas (Maldonado Tapias, 1999). El lugar surge entonces, como el escenario de las condiciones favorables para la salud y el bienestar de los niños. El sol, los vientos y el paisaje, se convirtieron en elementos para integrar y ser parte de los espacios educativos (Figura 2-25).

Para dar respuesta a la construcción en serie y con rapidez, se construyen las escuelas *Tipo 32* a partir de la implementación de un sistema constructivo unificado, con materiales de primera calidad, durables y de fácil mantenimiento: estructura metálica, ladrillo, piso y ventanas en concreto (Figura 2-26). La tipología del edificio consistía en naves con 5 aulas para 240 alumnos y un área para uso múltiple, oficina, sanitarios y un departamento proyectado para un profesor (Molina, 2018).



Figura 2-25: Escuela pública en el barrio Los Comuneros (1938).

Fuente: <https://www.google.com/imgres?imgurl=x-raw-image>



Figura 2-26: Escuela Tipo (1962).

Fuente: http://www.esempidiarchitettura.it/sito/journal_pdf

Las corrientes internacionales de finales de 1950 y 1960 que promovían nuevas pedagogías y didácticas en el aula, se hacen eco en el país a principios de 1970, presentándose modelos experimentales. Derivado de este modelo, la organización ortogonal y las circulaciones desaparecen y en su lugar, se proponen aulas con formas trapezoidales y triangulares con lo cual estimular la movilidad y el trabajo. El mobiliario adquiere un lugar importante, con paneles/tabiques móviles, que permitiesen adecuar el aula a diferentes necesidades.

En los años sesenta los establecimientos educativos públicos, estaban a cargo del Instituto Colombiano de Construcciones Escolares (ICCE), y bajo la modalidad de concursos de arquitectura se diseñaban algunos proyectos. Entre ellos, en 1972, el Instituto Nacional de Educación Media (INEM) en Manizales, que diseñó la firma Camacho y Guerrero (Téllez, 2018), (Figura 2-27), o el colegio Jorge Isaacs (INEM) en Cali, (Figura 2-28). Ambos colegios promovidos por el ICCE, bajo el diseño de diferentes arquitectos, tenían características básicas como el uso de los bloques de aulas, talleres, oficinas y otros, de manera independiente; amplios espacios para el deporte y recreación, coliseo de uso múltiple con materiales a la vista, de fácil mantenimiento.



Figura 2-27: Instituto Nacional de Educación Media –INEM (1972). Manizales, Caldas. Fuente: Camacho y Guerrero, (Téllez, 2018)



Figura 2-28: Colegio INEM Jorge Isaacs Cali. Fuente:<http://filosofiadecimo10.blogspot.com/2017/05/el-entorno-externo-e-interno-de-la.html>

La reforma del estatal en la década de los 90s, la cual otorga mayor independencia a los Departamentos y descentraliza muchas de las funciones del Estado, tiene efectos en la educación, a través de la Ley 60 de 1993. Cada Departamento y Municipio, establece sus lineamientos, metas y los presupuestos para su realización, enmarcados dentro de las políticas del Ministerio de Educación Nacional y el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC).

Los nuevos lineamientos, apuntan a la creación de ambientes de aprendizaje en relación con las comunidades en donde se insertan, como parte de una concepción más integral. Las aulas incrementan su capacidad para 40 estudiantes y cuentan además con servicios que pueden

ser ofrecidos a la comunidad, como bibliotecas y auditorios además de grandes zonas para el deporte y la recreación.

A partir del año 2000, en el documento *Construyendo pedagogía*, se establecen las condiciones para los macro proyectos en Bogotá y en el resto del país, para atender el déficit de cobertura educativa, con la construcción de colegios con capacidad hasta 4.000 estudiantes. Como ejemplos, el colegio Porfirio Barba Jacob en Bogotá (Figura 2-29), se integra a la trama urbana y permite el uso de la biblioteca y salón múltiple por parte de la Comunidad. Asimismo, el colegio Nuevo Latir en Cali, tiene un edificio dedicado al Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) y la biblioteca para el uso de la comunidad (Figura 2-30). Estos ejemplos cuentan con envolventes detalladas, con la presencia de protecciones hacia la radiación solar, y dispositivos para el aprovechamiento de los vientos.



Figura 2-29: Colegio Distrital Porfirio Barba Jacob (2009) de Leonardo Alvarez.

Fuente: <https://www.archdaily.co/co/902051/colegio-distrital-porfirio-barba-jacob-leonardo-alvarez>



Figura 2-30: Colegio Nuevo Latir (2010) Archer Pazan Arquitectos.

Fuente: <http://www.sainc.co/portfolio-view/ciudadela-nuevo-latir/>

Las Normas Técnicas Colombianas (NTC), desarrolladas por el ICONTEC, hacen recomendaciones para espacios educativos considerando la comodidad ambiental. Las recomendaciones incluyen estrategias bioclimáticas para la comodidad visual, térmica y auditiva de las aulas, así como para el resto de los espacios de un colegio. Además, el Estado desarrolla una serie de documentos como el *Colegio 10. Lineamientos y recomendaciones para el diseño arquitectónico del colegio de jornada única* (Ministerio de Educación Nacional. República de Colombia, 2005), en donde se especifican en detalle las condiciones de las aulas, los modelos de ocupación y organización del aula, como también el documento *Estándares*

Básicos para el planeamiento y especificaciones de las Construcciones Escolares, con el fin de orientar propuestas arquitectónicas novedosas, en armonía con las nuevas necesidades de la educación para los niños y jóvenes en el país.

En Colombia se han desarrollado ejemplos aislados de colegios con características asociadas a la sostenibilidad ambiental, entre ellos el Colegio San José en Barranquilla (Figura 2-31) el cual apuesta a la disminución de la isla de calor, con la implementación de cubiertas ajardinadas y amplias zonas verdes. Entre los últimos ejemplos en el 2019, y localizado en el Valle del Cauca, se cuenta con el colegio Gabriel García Márquez en Yumbo (Figura 2-32), en donde se incorporan material reciclado como la ceniza industrial y chatarra en la estructura metálica, además de energías alternativas como los paneles solares. Ambos ejemplos hacen el máximo aprovechamiento de la luz natural, la ventilación cruzada, las aguas lluvias para el reúso en algunos servicios y cuentan con sistemas eficientes de iluminación, entre otros aspectos.



Figura 2-31: Colegio San José de Barranquilla.
Fuente: <http://www.colsanjose.edu.co/mi-colegio/historia-del-colegio-san-jose/>



Figura 2-32: Colegio Gabriel García Márquez.
Fuente: <https://www.colombia.argos.co/Acerca-de-Argos/Proyectos/Institucion-educativa-Gabriel-Garcia-Marquez>

2.3. El sistema educativo en Colombia

Colombia, al igual que muchos países de América Latina, tiene un sector público pequeño, lo que limita su capacidad para atender las necesidades de la población. Lo anterior se complejiza en un entorno en donde uno de cada tres colombianos es pobre (33%). La

desigualdad del país es similar a la de países como Haití, Honduras y Sudáfrica (González-Velosa, Rucci, Sarzosa, & Urzúa, 2015).

El conflicto armado en Colombia, ha tenido un impacto en todos los sectores sociales, especialmente en la educación. Los niños y jóvenes de municipios con altos índices de violencia están expuestos a amenazas como muerte, reclutamiento forzado para la guerra y por ende, exclusión del sistema social y educativo (UNICEF, 2012). Desafortunadamente, el acceso a la educación en las zonas de conflicto es limitado. Desde 1985, aproximadamente 5.7 millones de personas (mayoría indígena y afrocolombiana) han sido desplazados por el conflicto armado (Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia, 2013) , reforzando la segregación social.

La política nacional de educación, ha estado centrada en mejorar el acceso a la calidad por parte de los sectores de la población en todos los rincones del país. El reto de superar la desigualdad es muy grande. Como lo indica el informe de la OCDE, la expectativa de vida escolar en niños en pobreza es de 6 años, mientras que para niños con condiciones favorables llega a 12 años, es decir, el ciclo educativo completo.

Esa diferencia es más evidente en la educación superior, en donde solo el 9% de los jóvenes más desfavorecidos, acceden a la escuela, frente a un 53% del acceso de los más favorecidos. Muchos de los jóvenes en Colombia con dificultad de acceder a la educación, desisten y nunca van a la escuela, no comienzan a tiempo o asisten a instituciones de menor calidad (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos-OCDE, 2016).

La política educativa municipal además de centrarse en el aumento de la cobertura, se orienta principalmente a dos estrategias fundamentales: el mejoramiento de la calidad y el fortalecimiento de las instituciones educativas, como lo indica el diagnóstico de la Educación, realizado por la Secretaría de Educación Municipal en el 2018 (Secretaria de Educación Municipal Alcaldía de Santiago de Cali, 2018).

Hay dos clasificaciones básicas de las instituciones educativas en Colombia, las cuales están definidas en la Ley 715 de diciembre 21 de 2001:

- **Instituciones Educativas:** Las que ofrecen los niveles de preescolar, básica (nueve grados como mínimo) y media, y pueden ser de carácter estatal, privado.
- **Centros Educativos:** los que no ofrecen la totalidad de los grados y deben asociarse para ofrecer los niveles completos.

Las Instituciones Educativas estatales son departamentales, distritales o municipales. Hay establecimientos públicos educativos del orden nacional que funcionan con recursos del presupuesto nacional.

La educación en Colombia se organiza de la siguiente manera: educación **formal, no formal, informal y superior** (regulada por ley especial). La educación formal de interés para el presente estudio, se organiza a lo largo del año en dos calendarios: Calendario A (año escolar de enero a noviembre) y calendario B (con año escolar de agosto a junio), y a partir de niveles de formación de la siguiente manera:

- Preescolar (mínimo 1 grado obligatorio).
- Básica: nueve (9) grados desarrollados en dos ciclos:
 - Educación básica primaria: 5 grados.
 - Educación básica secundaria: 4 grados.
- Educación media:
 - Grado décimo (10°) y undécimo (11°)
- Normalista.
- Para Adultos.

La **educación media**, puede tener dos énfasis diferentes: Académico, el cual permite profundizar en campos de las ciencias, artes o humanidades según el interés del estudiante, o el Técnico enfocado a preparar para el desempeño laboral, en sectores de la producción y

servicios: agropecuaria, comercio, finanzas, administración, industria, etc. Después puede ingresar a la educación superior.

La **educación normalista**, se enfoca en la formación de los educadores para los niveles de preescolar y básica primaria. Y la educación para adultos, se enfoca en los jóvenes y adultos que por cualquier motivo no ingresaron o desertaron del sistema.

Posterior a estos niveles, se encuentra la **educación superior** compuesta por instituciones universitarias, tecnológicas y técnicas. Además de la serie de cursos para actualizar contenidos enmarcados en la educación no formal o la educación informal, los que suceden a través del conocimiento adquirido de manera libre y espontánea.

2.3.1. Sistema educativo en Santiago de Cali

El municipio de Santiago de Cali atiende la matrícula de 344.122 personas entre niños, jóvenes y adultos. Sólo en el área urbana de Cali los matriculados ascienden a 344.800 (95 %), mientras en el área rural sólo alcanza el 5%. La mayor cantidad de estudiantes en la zona urbana de Cali, de acuerdo a la edad, se encuentran asociados con los niveles de primaria con 39.1 % y secundaria con 33.4 %, seguidos por la educación media con 11.8 % (Ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Diagnóstico Estratégico del Sector educativo 2018.

Nivel educativo	Total	Porcentaje (%)
Inicial	9.038	2.6
Transición	22.625	6.6
Primaria	134.658	39.1
Secundaria	115.274	33.4
Media	40.738	11.8
Normalistas	438	0.1
Adultos	22.029	6.4
Total	344800	100

Fuente: Secretaria de Educación Municipal-SEM

En general, el comportamiento de la matrícula por tipo de institución, se presenta en la Figura 2-33, el cual presenta una mayor cobertura desde las Instituciones oficiales o públicas, con el 47% del total de los matriculados. El 36% en las instituciones privadas y el 17% en las contratadas (¹). Como se puede observar, en todos los niveles las instituciones públicas tienen mayor número de estudiantes, siendo la enseñanza primaria la que cuenta con la mayor población en los tres tipos de instituciones.

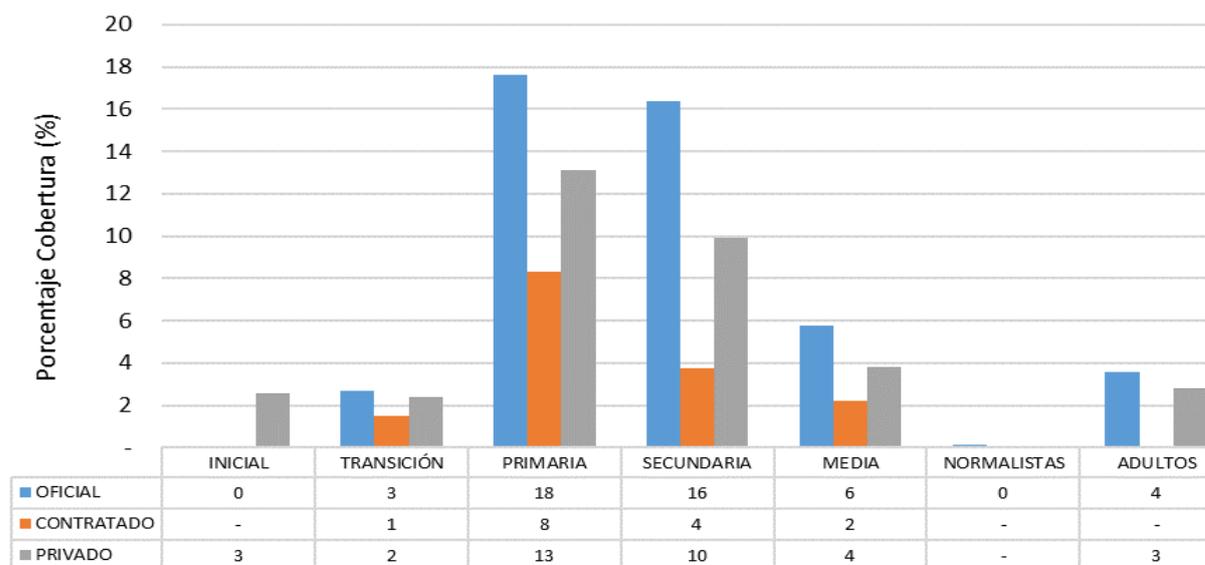


Figura 2-33: Porcentajes por tipo de institución.

Fuente: elaboración propia a partir del Diagnóstico Estratégico del Sector educativo 2018

Sin embargo, según los datos de proyección del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el cual proyectó para Cali 440.902 personas en edad escolar, quedaría un 30.2% de población sin cobertura, la cual será atendida a través de la construcción de nuevos colegios y la adecuación de los existentes, lo que ha sido una apuesta importante para reducir el déficit.

En cuanto al cumplimiento de las normas técnicas, la Secretaría de Educación identificó una relación promedio de 32 estudiantes en la zona urbana de la ciudad de Cali (con máximos de

¹ Las instituciones contratadas resultan del contrato entre la Secretaría de Educación Municipal y establecimientos educativos privados, con el fin de prestar educación pública y aumentar la cobertura.

40 estudiantes por docente en algunas instituciones de la ciudad) y de 22 estudiantes para la zona rural (ICONTEC, 2015).

La población de Colombia es diversa y especialmente en Cali el Sistema Educativo debe atender población desplazada, dispersa, indígena y afrocolombiana (Secretaría de Educación Municipal Alcaldía de Santiago de Cali, 2018) , además de la población con discapacidad, y con necesidades especiales de aprendizaje. Lo anterior, son aspectos que se deben tener en cuenta al momento de la organización en la planta funcional de la escuela y el aula, la cual para las instituciones existentes debe ser de 1.2 m² por estudiante, y de 1.65 a 1.80 m² para los nuevos establecimientos.

La mirada desde la matrícula hacia los estratos socio-económicos ⁽²⁾ arroja como el principal grupo el conformado por los estratos 1, 2 y 3, el cual representó para el año 2018 el 98.3% del total de la matrícula del sector oficial; mientras los estratos 4 y 5, representaron el 87.5% de la matrícula en el sector privado. La distribución por género es casi igual, con 50.03% de hombres y el 49.9 % de mujeres.

² La estratificación socio-económica es un estudio técnico que permite clasificar la población de una localidad en distintos estratos o grupos de personas con características sociales y económicas similares a través de sus viviendas". 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.

CAPITULO 3

3. LA NOCIÓN DE CONFORT EN CLIMAS CÁLIDOS

3.1. Confort térmico

Se entiende al confort, como la situación en la que las personas se encuentran en estado de bienestar o satisfacción con el medio en el que se encuentran, sin percibir malestar por calor o por frío. Los primeros estudios alrededor del confort térmico como indican Gómez-Azpeitia, Morales, y Torres (2013), fueron desarrollados en 1925 por Houghton y Miller. En estudios realizados en laboratorio, los autores identificaron que la temperatura de la piel es un indicador aceptable para la sensación de confort térmico en clima frío, mientras en contextos cálidos, la humedad de la piel es el indicador más correcto. Es así, que desarrollaron el índice ET (del inglés *Effective Temperature*), que puede reflejar la temperatura sentida bajo efecto de la humedad, la cual puede diferir de la registrada por los equipos (Arauz, 2010).

La norma ASHRAE, aborda el confort térmico a partir de procesos de balance energético entre el cuerpo humano y el ambiente en que se encuentra. En este balance, entran en juego factores humanos como el área del cuerpo, tasa metabólica (met), factor por aislamiento de ropa (clo) y, factores ambientales como temperatura ambiente, T_a , T temperatura de bulbo seco (T) y húmedo (T_{bh}), presión de vapor de agua (P_a), presión atmosférica (P_t), humedad relativa (HR), radio de humedad (W_a), velocidad del aire (V_a) y temperatura media radiante $\overline{T_r}$.

A continuación se presenta la síntesis de la **cronología del confort térmico** continuación (Figura 3-1y Figura 3-2).

LÍNEA DE TIEMPO CONFORT TÉRMICO

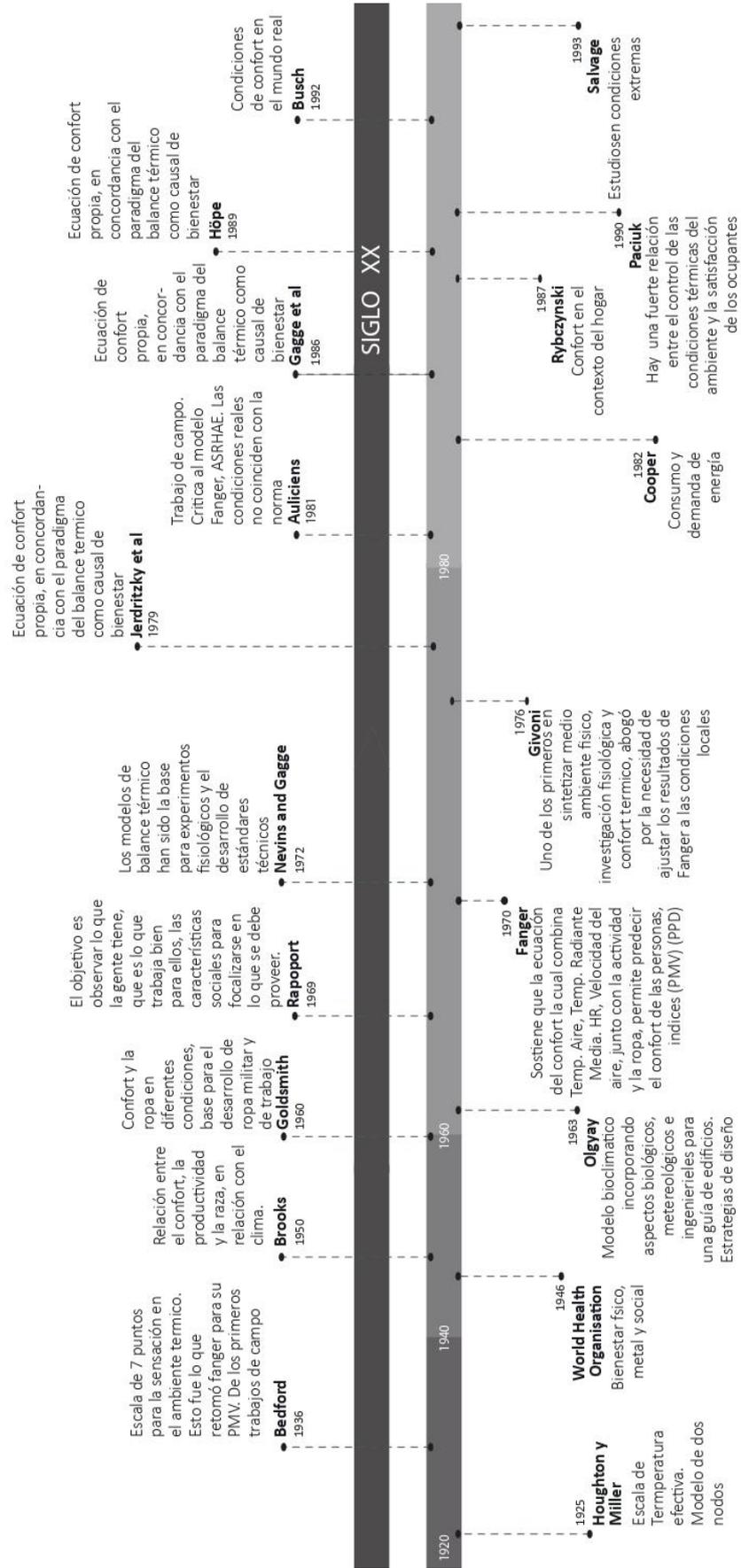


Figura 3-1: Línea de tiempo confort térmico, parte I

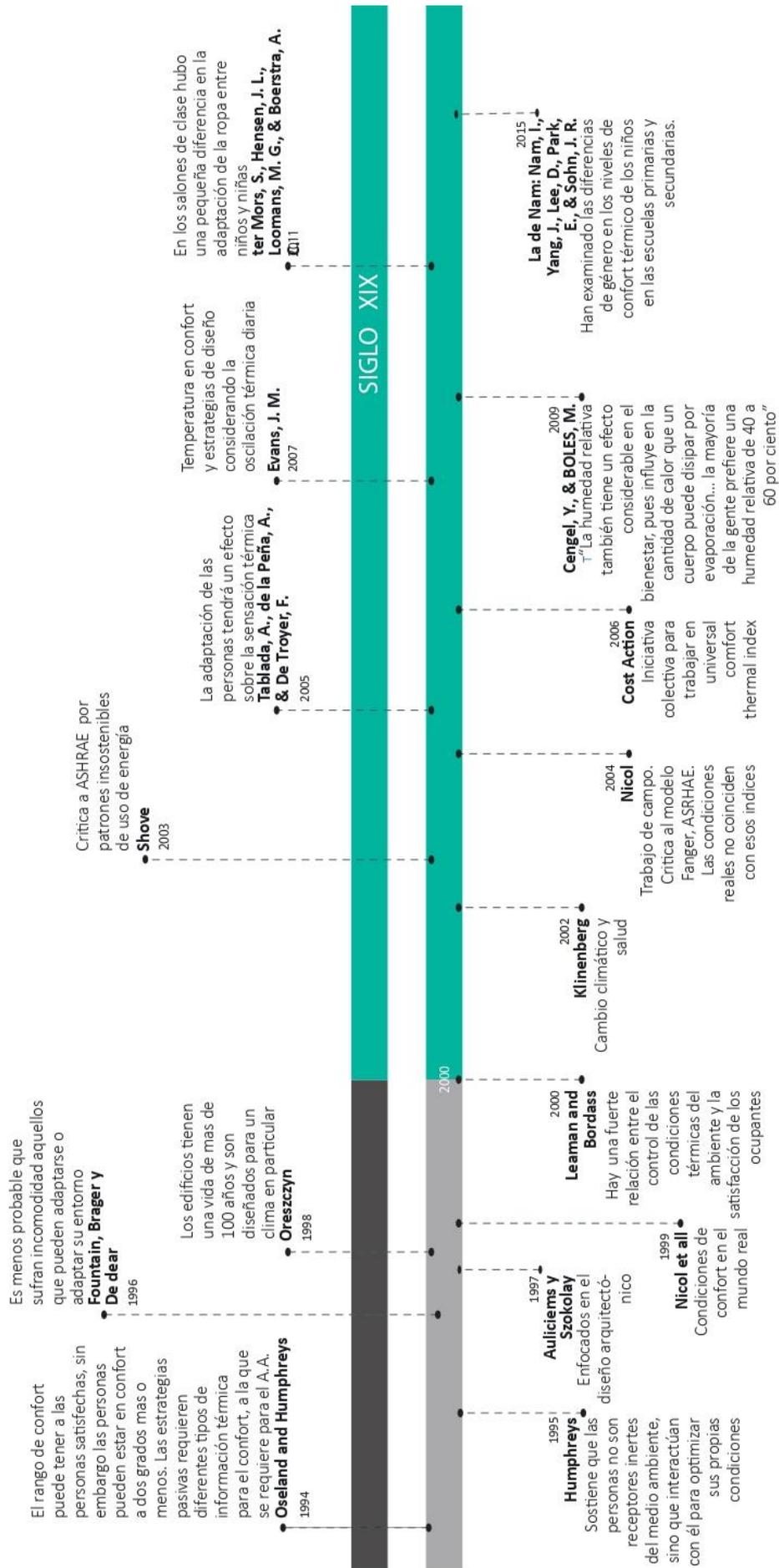


Figura 3-2: Línea de tiempo confort térmico, parte II

Si bien, la temperatura es uno de los parámetros fundamentales para predecir o analizar el confort, otros como la humedad relativa y el movimiento del aire son también relevantes, especialmente en ambientes tropicales y ventilados naturalmente. En cuanto a la ventilación, entre sus funciones está la de aumentar la percepción de bienestar térmico, reducir el vapor de agua del aire y evaporar la humedad sobre la piel. El fenómeno de evapotranspiración promueve la liberación de calor desde el cuerpo. Se estima que un leve movimiento de aire de 50 cms/seg (Silver & McLean, 2008, p. 72), puede reducir la temperatura ambiente y para la ASHRAE (2004), la velocidad del aire debe estar alrededor de 0.20 m/seg o lo que es igual, 20cm/seg.

En cuanto a la humedad relativa, hay diferentes opiniones sobre el rango más adecuado. Autores como Cengel y Boles (2009), afirman la preferencia de que la humedad relativa adecuada se encuentra entre el 40% y 60%. La norma NTC 5316 indica valores de temperatura operativa, en función de rangos de humedad relativa entre 50% y 60%.

Los estudios base para la norma comenzaron en condiciones de laboratorio controladas como se indicó al inicio, luego comienzan estudios en campo real a partir de contrastaciones empíricas. En primera instancia, enfocados en el comportamiento fisiológico frente a diferentes condiciones climáticas, luego, en el desarrollo de indumentaria especializada como la militar y, por último, en las diferencias culturales y sociales, frente a los rangos de confort propuestos.

3.1.1. Método Analítico

Uno de los autores con mayor difusión en el tema es Povl Ole Fanger, quien retoma la escala térmica presentada en ASHRAE (ASHRAE, 2005) y a partir de una serie de investigaciones con voluntarios de diversas partes del mundo, propone un modelo para predecir el confort térmico a partir de parámetros ambientales como las dimensiones del aula, la Temperatura Media Radiante, la humedad relativa, la velocidad del aire y aquellos parámetros en relación con los ocupantes, como el aislamiento de la ropa y la actividad metabólica, entre otros. (Fanger, 1970).

El modelo propuesto por Fanger se basa en el balance del flujo de calor entre el ambiente y el cuerpo y el calor requerido para un confort óptimo, en una actividad específica (ASHRAE, 2005). Este modelo ha sido denominado **Analítico** (ASHRAE/ANSI, 2013) y propone dos índices: el voto medio estimado **PMV** (del inglés *Predicted Mean Vote*), el cual permite predecir el voto medio estimado en el que se pueden encontrar los ocupantes de un espacio a partir de la escala de sensación térmica de siete puntos (ASHRAE, 2005), para tomar decisiones de diseño. Para la norma, el rango de PMV en confort se encuentra entre -0,5 y +0,5. Por otro lado, el porcentaje estimado de insatisfechos **PPD** (del inglés *Predicted Percentage of Dissatisfied*), es un índice que se establece a partir de votos en confort del PMV, asumiendo que los votos por fuera de los valores -1, 0, +1 se encuentran en discomfort. El método desarrollado por Fanger, es el que ha tenido mayor desarrollo en la norma ASHRAE y por ende en las ISO ⁽¹⁾ y NTC ⁽²⁾ las cuales basan sus indicaciones en la primera.

Fanger, propone una variación en su modelo, con el fin de adecuar las predicciones de diseño en espacios naturalmente ventilados en clima cálido, las cuales son diferentes a las condiciones en espacios controlados y climatizados como los de un laboratorio. Este avance se basa en la expectativa de las personas en este tipo de climas, como el tropical, con mayor acostumbramiento a temperaturas elevadas (Ole Fanger & Toftum, 2002).

3.1.2. Modelo Adaptativo

Los rangos establecidos en las normas internacionales ASHRAE, comenzaron a entrar en cuestión por ser el resultado de investigaciones en laboratorio en condiciones climáticas controladas. A partir de 1950, comienzan a desarrollarse estudios que pusieron en duda dichos rangos en la marina de guerra (Ellis & Navy, 1952). De manera posterior como lo indican Gómez-Azpeitia et al., (2007), aparecieron otros estudios desarrollados en viviendas, fábricas y oficinas naturalmente ventiladas, desarrollados entre otros por De Dear & Auliciems (1988) y De Dear (1994), en Australia. A los que se sumaron investigaciones que profundizaron en las

¹ **Normas ISO:** Normas establecidas por la Organización Internacional de Normalización.

² **Normas NTC:** Conjuntos de Normas Técnicas colombianas, establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

estrategias de adaptación en diferentes climas (de Dear & Brager, 1998) como en el clima mediterráneo (Schiller et al., 1988), en el cálido húmedo (Dear & Fountain, 1994) y en el clima frío (Donnini et al., 1997); en los que se demostraba que el confort térmico evaluado en el mundo “real”, arrojaba resultados diferentes a los propuestos por las normas internacionales.

Existen investigaciones en donde se demostró la diversidad de opiniones en cuanto al confort bajo condiciones similares, como las realizadas por autores como Humphreys (1994) y Oseland (1995) con un grupo de personas con el mismo rango de edad y con la misma actividad; o las desarrolladas con grupos de trabajadores de fábricas en su entorno de trabajo, por Humphreys & Nicol (1998), demostraron que las personas pueden manifestar confort en rangos diferentes a los establecidos por las normas, cuestionando dichos estándares para definir el confort, pretendiendo homogeneizar condiciones culturales y climáticas diversas.

Esta discusión se extendió a los edificios y entornos naturalmente ventilados, en donde la discusión alrededor del confort, presenta nuevos retos y aparece en el escenario el concepto de adaptación, por parte de las personas y de los mismos edificios frente a las condiciones térmicas del entorno.

Esta nueva manera de abordar el confort, ha sido liderada por lo que se conoce como el **modelo Adaptativo**, cada vez con mayor desarrollo en la norma ASHRAE, el cual sostiene que la percepción del confort está estrechamente ligada a las condiciones culturales, sociales y climáticas del contexto (Tablada, et al., 2005) y no sólo son el resultado de fenómenos de termorregulación del cuerpo, en una crítica directa al modelo derivado de las investigaciones realizadas por Fanger (P.O. Fanger, 1970).

Este modelo se basa en la temperatura promedio exterior, la cual incide en el balance térmico de las personas (Ole Fanger & Toftum, 2002). Puede ser aplicado en ambientes con ausencia de medios mecánicos para la refrigeración, en donde los ocupantes se encuentren con una Tasa Metabólica entre 1,0 y 1,3 met, con nivel de aislamiento de ropa entre 0,5 y 1,0 clo, o con la capacidad de adaptarse en este rango (Figura 3-3) y bajo condiciones de temperatura exterior por debajo de 33,5°C. (ASHRAE 55-2017, pag. 40).

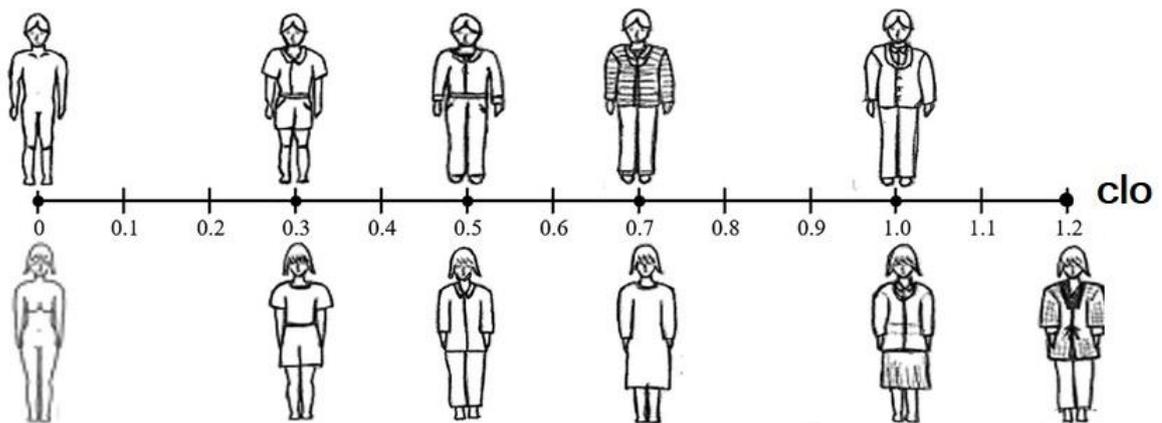


Figura 3-3: Escala para el aislamiento de ropa = clo. Fuente: (Rijal, Humphreys, & Nicol, 2019)

Bajo el modelo Adaptativo, en ambientes cálidos, las personas pueden modificar su ropa, postura, aumentar o disminuir la actividad (Olesen & Parsons, 2002), diversas estrategias que tienen implícito el acostumbramiento por parte de quienes habitan dichos espacios. Tal es el caso de trabajadores de oficinas en Australia en las ciudades de Darwin, Brisbane y Melbourne, acostumbrados a trabajar en oficinas ventiladas naturalmente y con temperaturas más elevadas a las indicadas en los rangos normativos.

Otros estudios sostienen que además del acostumbramiento que puedan presentar las personas que habitan entornos cálidos, una condición social precaria puede aumentar el rango en el que las personas pueden estar en confort, tolerando temperaturas mayores alrededor de 4°C (Givoni, 1998).

En esta misma línea de pensamiento, a partir de la capacidad de adaptación de las personas, autores de gran difusión en la arquitectura bioclimática como Olgyay y Givoni, han definido zonas de confort de acuerdo a las características climáticas, métodos que permiten fácilmente determinar las condiciones de confort, sin contar con promedios climáticos históricos, o con los resultados de mediciones en sitio.

3.1.3. Confort térmico en aulas

El estudio del ambiente educativo, especialmente el del aula, es un tema relevante y vigente, no solo por ser el espacio con mayor ocupación dentro de las instituciones educativas, sino

por ser en el que los estudiantes pasan la mayor parte de su día y el lugar por excelencia para realizar la actividad de enseñanza y aprendizaje. El confort térmico en colegios, se comenzó a investigar en países con estaciones climáticas diferenciadas, en donde las condiciones de confort se dan la mayor parte del año gracias a equipos de climatización. Esta situación es diferente a las aulas ventiladas naturalmente. Varias investigaciones se han dado a la tarea de comparar la sensación térmica de las personas en aulas con aire acondicionado y ventiladas naturalmente, demostrando que hay mayor tolerancia a temperaturas más altas en las segundas. (Hwang, Lin, & Kuo, 2006; Kwok, 1997; Kwok & Chun, 2003).

En su texto Tablada et al. (2005) señalan que los estudios desarrollados en las últimas tres décadas en colegios ventilados naturalmente en climas cálidos, demuestran que la sensación térmica reportada es más cálida que la señalada en las normas (Liang, Lin, & Hwang, 2012). Por el contrario, Hwang, Cheng, Lin, & Ho (2009) indican que el rango de confort para una aceptación del 80% es más bajo que el indicado por la norma ASHRAE.

En el caso de niños en los primeros años, se evidencia mayor sensibilidad a las condiciones térmicas del ambiente que la población adulta (Faustman, Silbernagel, Fenske, Burbacher, & Ponce, 2000). Los niños presentan, además, limitaciones en su capacidad de adaptación, bien sea por la necesidad de pedir permiso (Bernardi & Kowaltowski, 2006) y/o restricciones de uso de ropa, o cambio de actividad, o manipulación exclusiva de elementos de la fachada en el aula por parte de los adultos (Teli, Jentsch, & James, 2014).

Investigaciones realizadas en colegios se han dado a la tarea de profundizar en la actividad metabólica y al valor del aislamiento de la ropa. Con respecto a este último se identificó, por ejemplo, diferencias de género en el ambiente térmico del aula, a través de la adaptación de la ropa entre niños y niñas, empleando estas últimas, mayores estrategias de adaptación que los niños (Al-Rashidi, Loveday, & Al-Mutawa, 2009). Por otro lado, se ha demostrado la diferencia que puede tener el valor de la tasa metabólica de un adulto (base de la norma) y la de un niño (Vanos, 2015).

En entornos cálidos y tropicales, se ha comparado la evaluación del confort en diferentes momentos del año resultando que el rango de confort en verano puede alcanzar hasta 30,7°C

con una aceptabilidad del 78% (Baruah, Kumar Singh, & Mahapatra, 2014), 31°C de ET (del inglés *Effective Temperature*) con 57% (Kwok, 1997), 30°C con 90% (Hwang, Lin, Chen, & Kuo, 2009) y 32°C en el mes de mayo (Subhashini & Thirumaran, 2018).

Relaciones como el confort térmico y aspectos arquitectónicos son también abordados por Kwok & Grondzik (2018), en donde se presentan alternativas para un ambiente térmico aceptable. Otros, (Liang et al., 2012), analizan el confort térmico en relación con la envolvente arquitectónica. Subhashini & Thirumaran (2018) presentan un mejoramiento en el desempeño térmico, a partir de un mayor grado de protección solar en la envolvente (Figura 3-4 y Figura 3-5). Y, Teli, Jentsch, & James (2014) analizan el efecto de la envolvente (materialidad, superficies vidriadas y elementos de sombreado), la altura del espacio y los dispositivos de control climático, en la percepción de confort de los estudiantes.



Figura 3-4: Fachada sin elementos de protección

Figura 3-5: Opción elemento vertical

Fuente: (Subhashini & Thirumaran, 2018b)

El confort térmico también hace parte de una visión más amplia del confort en colegios, en donde es uno de los aspectos a evaluar en la calidad de un espacio, junto con el confort visual y acústico. Estos abordajes se han dado principalmente en países con estaciones, los más cercanos al presente estudio son los desarrollados en Chile en invierno y verano (Trebilcock et al., 2012), en Argentina (San Juan, Hoses, Rojas, y Moreno, 1999) y pocos estudios realizados en la franja del trópico ecuatorial desarrollados en Colombia (Iglesias, Herrera, y Rosillo, 2016; Zapata C., et al., 2018).

3.2. Confort visual

A principios del siglo XX, en el panorama internacional, surge el modelo conocido como *open air school* (Wu & Ng, 2003), (Figura 3-6), el cual pretendía solucionar los problemas identificados en los espacios para la educación a finales del siglo XIX. Dichos espacios, en su

mayoría, no habían sido diseñados originalmente para la enseñanza, ocasionando problemas en la salud y seguridad (Robson, E. R., 1877), además de condiciones inadecuadas de confort.

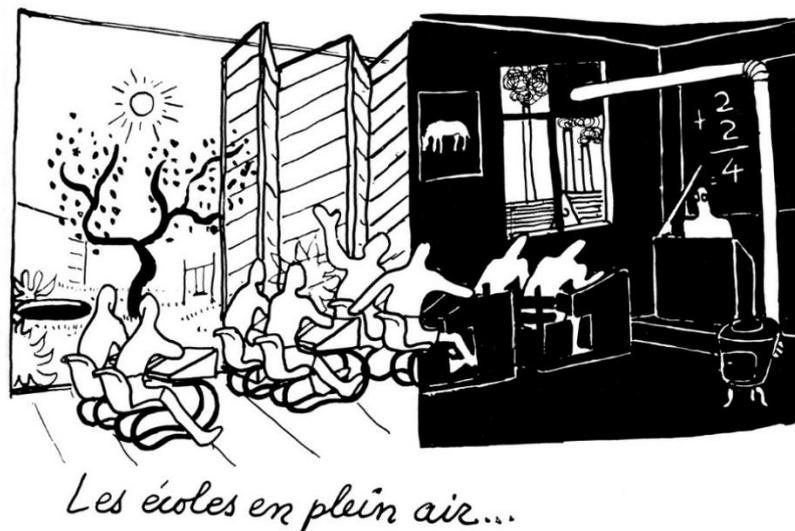


Figura 3-6: Marcel Lods, 1930. Fuente: <https://www.vs.de/schulmuseum/en/>

Reconocidos pedagogos de final de siglo XIX e inicios del siglo XX, como Friedrich Froebel, María Montessori y Ovide Decroly, defendieron la necesidad de relacionar el ambiente educativo con el ambiente exterior (Potes, 2009). De manera posterior, en los principios higienistas descritos por Pablo Montesinos (Navarro y Montesino, 1988), se registra una fuerte presencia de los temas de iluminación, como mayor requerimiento en cantidad de ventanas y claraboyas para repartir la luz, paredes lisas y blanqueadas, para reflejarla bien y preservar la salud (Ruiz, 1994).

El modelo escuela abierta (*open air school*), se organizaba a partir de patios, con una relación más directa hacia el exterior, con mayor área para ventilar e iluminar, lo cual buscaba mejorar el nivel lumínico del aula, resultante de la relación entre el flujo luminoso, en este caso, la luz natural y la extensión de la superficie que lo recibe. El acento puesto en la iluminación, producto de la luz solar, llega a su máximo aprovechamiento en el periodo de posguerra, hacia 1945, gracias a la producción de un material como el acero, que permitió la aparición de grandes áreas vidriadas.

A continuación se presenta la síntesis de la **cronología del confort visual** (Figura 3-7 y Figura 3-8).

LÍNEA DE TIEMPO CONFORT VISUAL

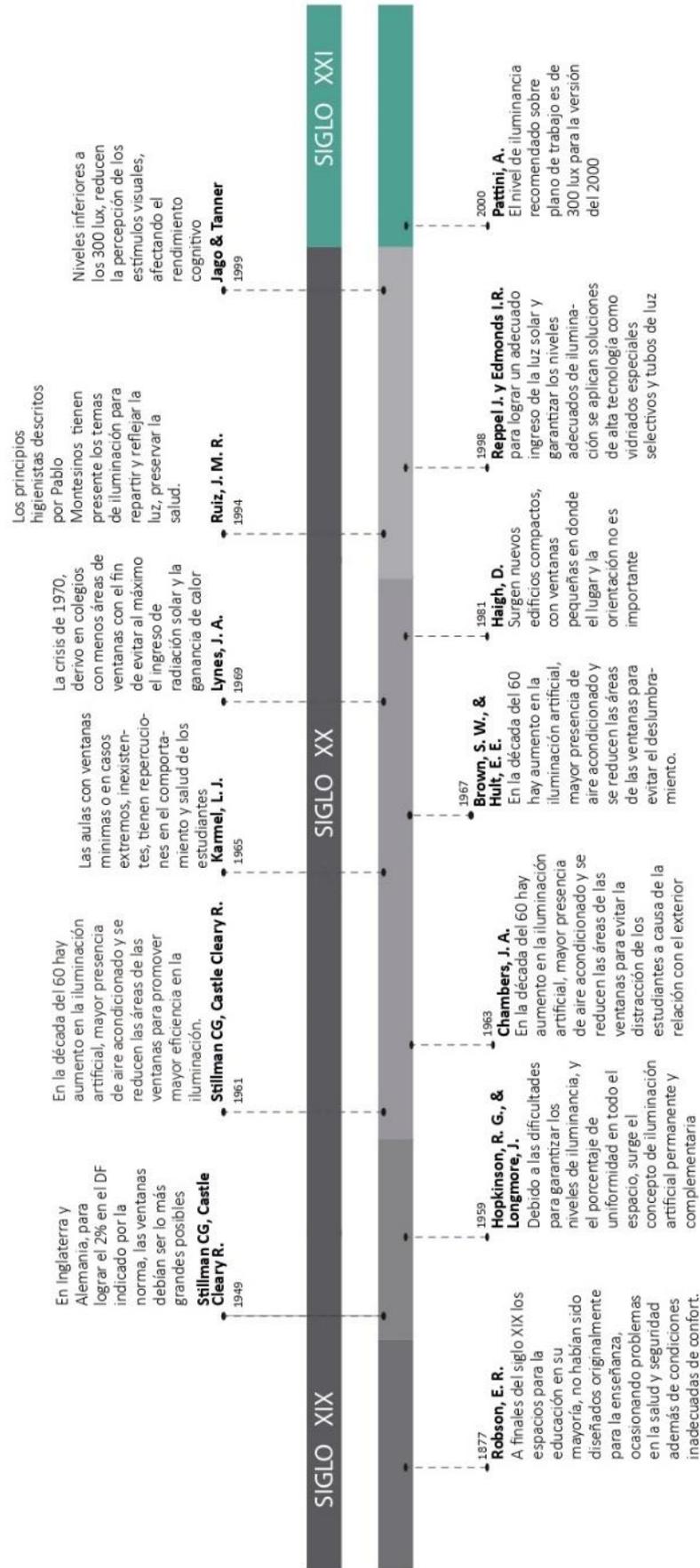


Figura 3-7: Línea de tiempo confort visual, parte I

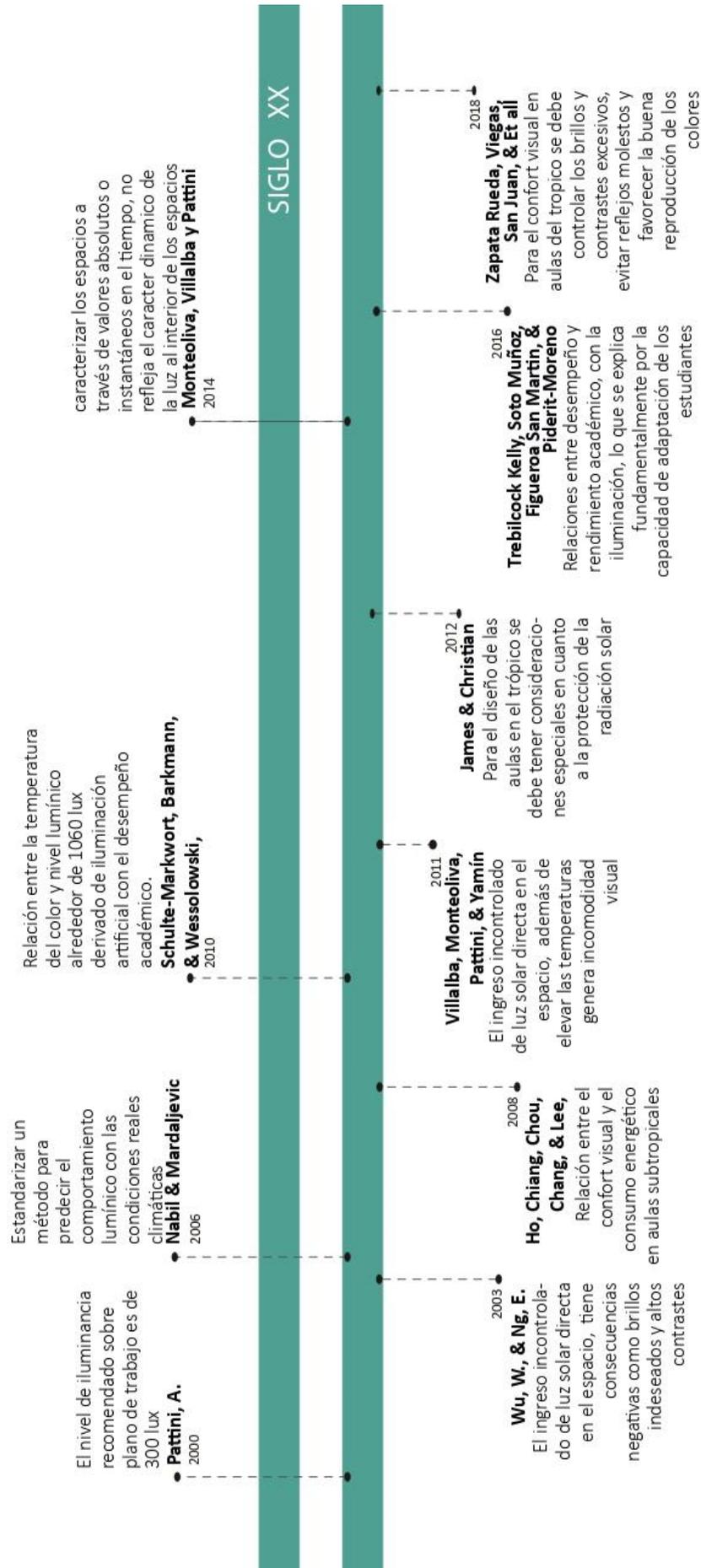


Figura 3-8: Línea de tiempo confort visual, parte II

Por otro lado, el ingreso desmedido de la luz solar en el espacio, implicó problemas que aún son un reto para el diseño de las aulas, como el aumento de brillos indeseados, deslumbramiento y altos contrastes entre las diferentes superficies del salón, con la consecuente falta de uniformidad en el espacio, entendida como la relación entre la uniformidad mínima y media (Ministerio de Minas y Energía, 2010) . Además de aspectos que desbordan los temas del confort visual, como el aumento del calor y reducción de la eficiencia energética, para el diseño de sistemas de acondicionamiento térmico (Graves & Pearson, 1993; Wu & Ng, 2003).

Hasta 1960 el Daylight Factor (DF), era el atributo más importante en el diseño de aulas y, a la fecha, es una de las métricas estáticas con mayor uso para el análisis lumínico. El DF consiste en la relación entre el nivel de iluminación al exterior y la iluminancia, producto de la luz natural en un punto y momento específico en el espacio. $(\text{Iluminancia}_{\text{int}} / \text{iluminancia}_{\text{ext}}) * 100$ ⁽³⁾. En Inglaterra y Alemania en donde existe un amplio registro histórico de la evaluación visual en los colegios para lograr el 2% del indicado por la norma, las ventanas debían ser lo más grandes posibles, como lo indican autores en su momento como Stillman & Cleary (1949). Sin embargo, en contextos con las 4 estaciones, y cielos predominantemente nublados, se recomienda hasta un 5% en el DF (Wu & Ng, 2003), valor que resulta excesivo en contextos tropicales dadas las condiciones de radiación durante todo el año.

Debido a las dificultades de garantizar los niveles de iluminancia y el porcentaje de uniformidad en todo el espacio, surge el concepto de **iluminación artificial permanente y complementaria**, como estrategia para alcanzar los niveles de iluminación adecuados en la totalidad del área del salón (Hopkinson & Longmore, 1959). A partir de entonces, se registra aumento en la iluminación artificial, mayor presencia de aire acondicionado y se reducen las áreas de las ventanas con el objetivo de apuntar a varios problemas: el deslumbramiento (Brown & Hult, 1967; Kay, 1963), la distracción de los estudiantes a causa de la relación con el exterior (Chambers, 1963) y promover mayor eficiencia en la iluminación.

³ **Iluminancia (I):** Es la cantidad de flujo luminoso recibido en una superficie, dividido por el área de dicha superficie: $I = E/d^2$. Su unidad es el Lux: $lx = lm/m^2$

En el panorama internacional, la crisis del petróleo de 1973 y 1974, derivó en colegios con menor área de ventanas con el fin de evitar el ingreso de radiación solar con el consiguiente sobrecalentamiento del espacio interior y por ende, el uso de equipos de climatización (Wu & Ng, 2003). Este modelo conocido como aulas con menos ventanas (*window less classrooms*) trajo consecuencias desfavorables en la percepción y aprendizaje de los estudiantes Figura 3-9 y Figura 3-10.

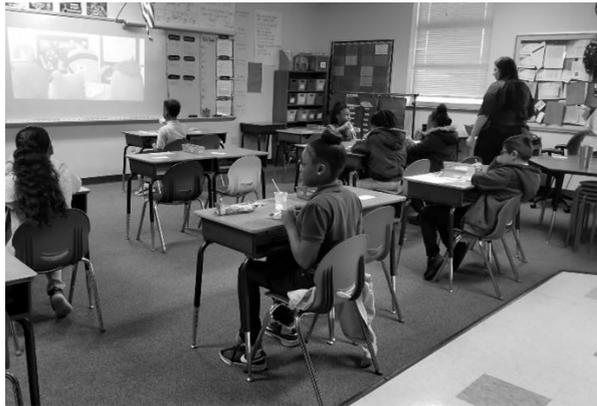


Figura 3-9: Modelo *window less classrooms*.
Fuente: <https://beyondbreakfast.org/national-school-breakfast-week-snapshot-desoto-isd/>



Figura 3-10: Modelo *window less classrooms*.
Fuente: <https://theselfregulatedteacher.com/2019/04/>

Las aulas con pocas y en casos extremos, inexistentes áreas de ventanas, tienen repercusiones en el comportamiento y la salud de los estudiantes (Tikkanen, 1970); en las ausencias (Larson et al., 1965), como también, en la capacidad de aprendizaje (CHPS, 2003). Son numerosos los estudios que han demostrado la relación entre iluminación y desarrollo estudiantil. Bajos niveles de iluminación reducen la percepción de los estímulos visuales y afectan directamente el rendimiento cognitivo (Knez, 1995; Jago y Tanner, 1999).

Hacia 1980 y en respuesta a las aulas cerradas, en Inglaterra, se permitió el ingreso de la luz solar a través de cuidadosos controles en la fachada. Por otro lado, y como alternativa energética comienzan a aparecer proyectos con el uso de energía solar.

Es a partir de 1990, con la arquitectura denominada “verde” (*green buildings*), a través de un abordaje ambiental, que se vuelve a priorizar la relación del interior de las aulas con el exterior. Aparecen nuevamente, grandes ventanales, esta vez con cuidadosos análisis y simulaciones según la latitud y la orientación para aprovechar la iluminación natural (Wu &

Ng, 2003) y evitar los problemas de su falta de diseño. Como bien lo indican Monteoliva y Pattini (2013), el diseño de la iluminación natural, en su cualidad dinámica, requiere una planificación en su diseño (Figura 3-11 y Figura 3-12).



*Figura 3-11: Escuelas del bicentenario en Perú.
Fuente: <https://rpp.pe/peru/actualidad/escuelas-del-bicentenario-24-proyectos-de-colegios-que-se-adaptan-a-realidades-geograficas-y-climaticas>*



*Figura 3-12: aula multipropósito en escuela en Senegal.
Fuente: <https://www.architecturalrecord.com/articles/13901-fass-school-and-teachers-residence-by-toshiko-mori>*

Paradójicamente, después del tránsito histórico en el que la iluminación natural ha tenido un papel relevante en la configuración espacial del aula, en los últimos años y de manera paralela a la visión ambiental, se promueven edificios escolares exclusivos, en los que se excluyen los efectos del medio ambiente en las aulas. Surgen entonces, nuevamente, edificios compactos con ventanas pequeñas, en donde el sitio y la orientación no es importante (Haigh, 1981).

En la actualidad, las soluciones para lograr un adecuado ingreso de la luz solar y garantizar los niveles apropiados de iluminación, van desde soluciones de alta tecnología, como vidriados especiales selectivos de los ángulos de incidencia solar y tubos de luz (Reppel & Edmonds, 1998), hasta dispositivos de alta tecnología. Por lo general estas aplicaciones resultan costosas e inaplicables en contextos como el de Colombia, en el cual las soluciones en los edificios públicos institucionales y educativos, terminan reduciéndose a la presencia de vidrios con manipulación manual o fija y protecciones en fachadas.

Para cuantificar la iluminación natural –como se ha mencionado- existen métricas estáticas como el DF y la incursión solar, que permiten a través de simulaciones y métodos geométricos manuales, identificar la incidencia solar directa en un espacio o plano de trabajo. Por otro lado, en los últimos años, se han desarrollado las métricas dinámicas, a partir de cálculos

lumínicos computaciones, basados en archivos climáticos CBDM (del inglés *Climate Based Daylight Modelling*).

Las métricas dinámicas permiten predecir el comportamiento mensual o anual de un espacio, permitiendo tener un diagnóstico más amplio del desempeño visual en este. Las de mayor aplicación y difusión son:

- **Autonomía de Luz Natural - DA** (del inglés *Daylight Autonomy*) para predecir comportamiento lumínico de un punto en el espacio a lo largo de un año.
- **Intervalo de luz Natural Útil-UDI** (del inglés *Useful Daylight Illuminances*), desarrolladas por Mardaljevic y Nabil (2005), las cuales además de establecer los niveles lumínicos asignan niveles de cumplimiento y rangos, respectivamente.

La Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica IESNA (del inglés *Illuminating Engineering Society of North America*), desarrollaron dos métricas que permiten complementarse (Illuminating Engineering Society, 2012) y robustecer el análisis sobre desempeño lumínico:

- **Autonomía de luz en el espacio - sDA** (del inglés *Spatial Daylight Autonomy*) indica el porcentaje del área analizada por encima de un valor de iluminancia determinado, durante un tiempo específico. En el caso de la investigación, el rango de base de análisis es 300 lux, indicados por la norma.
- **Exposición solar anual - ASE** (del inglés *Annual Sunlight Exposure*), la cual se refiere al porcentaje del área del piso que recibe al menos 1000 lux por al menos 250 horas ocupadas al año (Elghazi et al., 2014), siendo un indicador relacionado con el deslumbramiento o discomfort como lo indican Kazanasmaz et al. (2016). El valor aceptado para dicho indicador es máximo 10% (U.S. Green Building Council-USGBC, 2013).

El aprovechamiento de la iluminación natural, es la principal estrategia diurna para alcanzar los niveles de iluminación adecuados en el aula, ya que durante el día es posible minimizar y

en algunos casos prescindir de la energía eléctrica consumida para acondicionamiento lumínico (Monteoliva y Pattini, 2013). Los autores señalan, que el aprovechamiento de la iluminación natural para tareas diurnas, puede representar ahorros entre el 50% y 80% del consumo total. En la misma línea, estudios (Dunn, Krimsky, Murray, & Quinn, 1985) indican que el 66% del gasto energético de los colegios, se encuentra concentrado en las aulas.

Algunas de las cifras sobre iluminación natural y el rendimiento escolar en aulas con iluminación deficiente, arrojan una eficiencia mayor al 26%, en pruebas de lectura y matemáticas en California (Heschong Mahone Group, 1999). En aulas abiertas, tienen un rendimiento del 7 al 8% mayor que los estudiantes en aulas con ventanas fijas, sin la posibilidad de apertura (Heschong Mahone Group, 1999).

Son menos los estudios que integran varios aspectos ambientales del aula con el desempeño académico, como ejemplo, el trabajo de Murillo y Martínez-Garrido (2012) en 9 países de Iberoamérica, en donde demostraron que no existen relaciones estadísticamente significativas entre el desempeño y el ambiente del aula, dado que todas se encuentran en condiciones aceptables de las variables.

3.2.1. Confort visual en aulas

Los análisis enfocados a demostrar la relación entre el confort visual y el consumo energético en aulas subtropicales (Ho, Chiang, Chou, Chang, & Lee, 2008), demuestran que la correcta selección de elementos en fachada para la reflexión de la luz, mejoran las condiciones de iluminación al interior de las aulas, como también implican ahorros energéticos en el caso de la implementación de adecuados parasoles horizontales (Ho et al., 2008), que implica un ahorro del 70% del consumo habitual. O también, ahorros entre el 50% y 80% (Monteoliva y Pattini, 2013), a través del aprovechamiento de la iluminación natural para alcanzar la iluminación adecuada durante el día, generando edificios eficientes energéticamente (Filippín, 2005). Sin embargo, los ahorros dependen de la presencia de sol y la luminosidad de la bóveda celeste del lugar (Pattini, 2009), porcentajes similares a los obtenidos en edificios de oficinas (Bodart & De Herde, 2002).

Para el diseño de las aulas en el trópico, se deben tener consideraciones especiales en cuanto a la protección de la radiación solar (James & Christian, 2012; Subhashini & Thirumaran, 2018), como por ejemplo evitar el ingreso incontrolado de luz solar directa en el espacio, lo cual tiene consecuencias negativas como brillos indeseados y altos contrastes (Wu, W., & Ng, E., 2003), además de elevar las temperaturas e incomodidad visual (Villalba, Monteoliva, Pattini, y Yamín, 2011). La selección del área vidriada se convierte en la variable principal para el aprovechamiento lumínico del diseño de la envolvente y lograr así, porcentajes de iluminancia suficientes y no excesivos (Monteoliva *et al.*, 2016).

Controlar los niveles de iluminancia, el deslumbramiento y la distribución espacial de la luz natural, son aspectos claves para alcanzar el confort visual (Villalba *et al.*, 2011), así como controlar los brillos y contrastes excesivos, evitar reflejos molestos y favorecer la buena reproducción de los colores. (Zapata, Viegas, San Juan, Ramos, Coronado, Ochoa, Rendón, Sarmiento, *et al.*, 2018), con lo cual desarrollar las tareas visuales con el menor esfuerzo, riesgo y perjuicio a la vista (Lamberts, Dutra, y Pereira, 2014). Para esto, garantizar la iluminancia adecuada en todo el espacio, es uno de los aspectos claves.

El nivel de iluminancia recomendado sobre plano de trabajo, según la Norma Técnica colombiana NTC 4595 (Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares), es de 300 lux para la versión del año 2000 y de mayor exigencia con 500 lux, para la versión 2015, al igual que en Argentina y Holanda, superando el umbral de países en condiciones similares como México (400 lux) y Brasil (200 lux), (Pattini, 2000). Niveles de iluminancia inferiores a los 300 lux recomendados, reducen la percepción de los estímulos visuales, afectando el rendimiento cognitivo (Jago & Tanner, 1999).

Sin embargo, estudios recientes enfatizan sobre el carácter dinámico de la luz al interior de los espacios, y las limitaciones al caracterizar los espacios a través de valores absolutos o instantáneos en el tiempo (Monteoliva, Villalba, y Pattini, 2014), además de la conveniencia de combinar diferentes métricas que permitan definir el ambiente lumínico, especialmente, en el caso de la iluminación natural (Yamin, Colombo, Rodríguez, y Pattini, 2016). Lo anterior, dificulta estandarizar un método para predecir el comportamiento lumínico con las

condiciones reales climáticas (Nabil & Mardaljevic, 2006) y el carácter dinámico de la luz al interior de los espacios (Pattini, 2000).

Investigaciones han comprobado la relación entre la temperatura del color y nivel lumínico alrededor de 1060 lux derivado de iluminación artificial con el desempeño académico, específicamente, una mayor comprensión lectora y velocidad de lectura (Commission Internationale de l'Éclairage & (CIE), 2010) citado por (Zapata, et al., 2018).

Otra importante línea de trabajo demuestra el beneficio de la iluminación natural en aulas de Estados Unidos, al comparar aulas con mejor y deficiente iluminación, encontrando el 20% de mayor rapidez en pruebas de matemáticas y 26% en las de lectura, en las aulas con mejor iluminación (Heschong Mahone Group, 1999). También se comprobó la incidencia de la iluminación natural en el aprendizaje, con un 21% de mejora (Heschong, 2003). Sin embargo, otro grupo no ha encontrado relaciones suficientemente significativas entre desempeño y rendimiento académico con la iluminación, lo que se explica fundamentalmente por la capacidad de adaptación de los estudiantes (Trebilcock Kelly, Soto Muñoz, Figueroa San Martin, & Piderit-Moreno, 2016).

Así como la iluminación natural implica beneficios en el ambiente interior del aula, su ausencia también acarrea consecuencias en la salud mental, como por ejemplo aparición de estados depresivos, alteración del ciclo circadiano, disminución de la creatividad, entre otros, (CHPS, 2003) citado por (Zapata, Viegas, San Juan, Ramos, Coronado, Ochoa, Rendón, Sarmiento, et al., 2018). Por otra parte, estudios enfocados en los componentes arquitectónicos de los edificios, exploran la incidencia de elementos específicos de la envolvente en el confort de las aulas, (Ledesma et al., 2003). En el estudio, la mejor alternativa en seis escuelas públicas estudiadas en Tucumán, en Argentina, fue el sistema de láminas horizontales inclinadas 45°, para todo el año. (S. L. Ledesma et al., 2004).

En estos estudios, como en otros, se han usado modelos a escala para el análisis bajo condición de luz natural como de cielo artificial (Gonzalo, Ledesma, Nota, y Marquez, 2001), como se presenta en las Figura 3-13 y Figura 3-14.



Figura 3-13: Verificación de asoleamiento.



Figura 3-14: Medición en cielo artificial

Fuente: (Gonzalo et al., 2001)

Otros de los elementos recomendados son los estantes de luz, los cuales con el adecuado diseño y verificación de su funcionamiento durante el proceso de diseño, promueven el ingreso de luz indirecta, evitan deslumbramientos (Casabianca y Evans, 2003) y pueden representar ahorros energéticos hasta del 70% como se demostró en aulas en Taiwán (Ho et al, 2008).

3.3. Confort auditivo

El confort auditivo, es *el estado de bienestar físico y mental del ser humano en su percepción auditiva, en un momento dado y en un ambiente específico* (Achazabal et al. 2003: 184, citado por González Rodríguez, L. D. C. (2009). Hay espacios que, por su condición de uso, han requerido atención especial de sus características acústicas, como los teatros León Rodríguez, Á. L. (1998) y las salas de conciertos, sin embargo, como lo señalan G. Siebein y B. Kinzey (1998), los problemas acústicos surgen en los espacios cotidianos en donde se vive y trabaja.

La calidad acústica en el espacio se basa según Apfel & Raichel (1998), en cinco aspectos básicos del sonido: suficiente volumen, buena distribución, claridad adecuada, y ausencia de eco y ruidos extraños; según el trabajo adelantado por el entonces presidente de la Asociación Acústica Americana, ASA, por sus siglas en inglés (Acoustical Society of America).

A continuación se presenta la síntesis de la **cronología del confort auditivo** (Figura 3-15):

LÍNEA DE TIEMPO CONFORT AUDITIVO

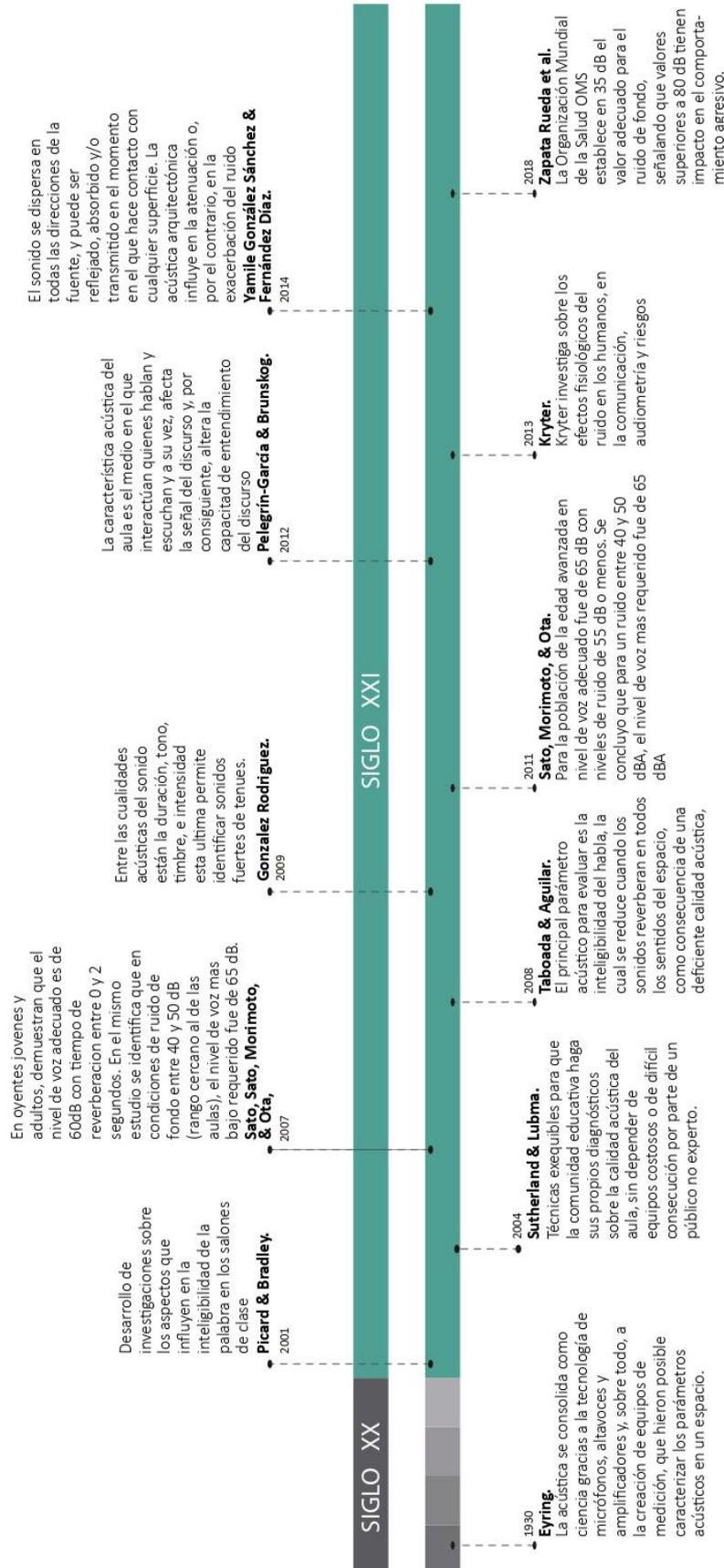


Figura 3-15: Línea de tiempo confort auditivo

El sonido se dispersa en todas las direcciones desde la fuente y puede ser reflejado, absorbido y/o transmitido en el momento en el que hace contacto con cualquier superficie. La acústica arquitectónica influye en la atenuación, o por el contrario, en la exacerbación del ruido (Yamile González Sánchez y Fernández Díaz, 2014), independiente de la naturaleza de la fuente.

Las primeras aproximaciones desde la acústica arquitectónica se dieron en espacios para la música, especialmente en templos como los griegos. Entre los años 1500 y 1800 se inician los primeros estudios científicos relacionando el sonido, la música y las vibraciones. Es sólo hacia finales del siglo XIX que surgen estudios específicos sobre *acústica*, gracias al término definido por Joseph Sauveur, como lo indica Raichel (2006).

A principio del siglo XX, entre los pioneros de la acústica arquitectónica, Wallace Clement Sabine (Wu & Ng, 2003), estableció la relación entre la acústica de un espacio y la proporción de energía absorbida por los elementos que lo configuran como muros, piso y techo, así como también los objetos al interior. Descubrió también, la relación inversa entre el tiempo de reverberación y la cantidad de absorción.

Como indica (Gonzalez Rodriguez, 2009), las cualidades acústicas del sonido son: la duración (tiempo de vibración en unidad de tiempo), el tono (vibraciones por seg.), el timbre (cualidad característica del sonido y que permite identificar dos sonido con igual frecuencia), (Llinares, Llopis, Sancho, & Francisco, 1996) y la intensidad, que permite identificar sonidos fuertes y tenues (amplitud de onda o potencia en W/m^2), ver Figura 3-16 a la Figura 3-19 en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Cualidades del sonido

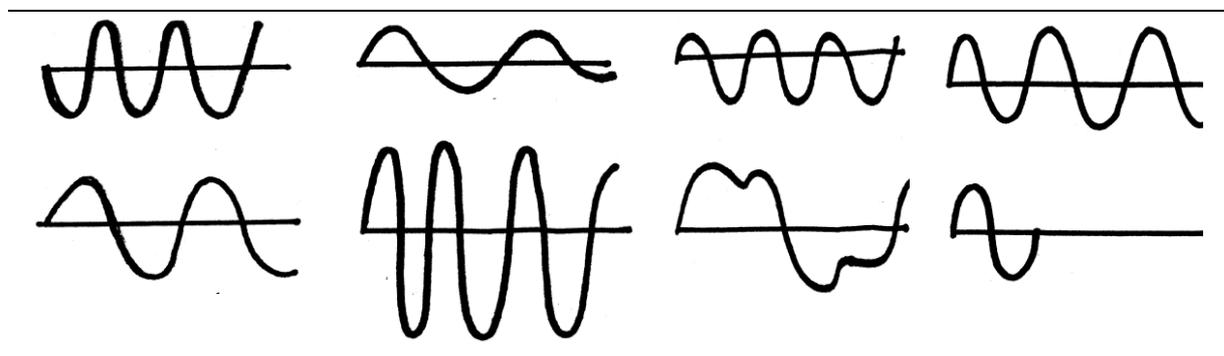


Figura 3-16: Altura

Figura 3-17: Intensidad

Figura 3-18: Timbre

Figura 3-19: Duración

Fuente: elaboración propia a partir de: www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=223728

Para el diseño del espacio desde la acústica, el tiempo de reverberación se convirtió en uno de los parámetros que comenzaron a definir criterios. Fue Sabine quien definió el rango adecuado para el tiempo de reverberación entre 0.5 a 0.9 segundos. Sabine y otros autores como Eyring y Norrus desarrollaron ecuaciones para identificar el tiempo de reverberación a partir del conocimiento del volumen del espacio, el área de las superficies y el coeficiente de absorción de los materiales (Eyring, 1930).

Hacia la década de 1930 la acústica se consolida como Ciencia (Medina, 2009), gracias a la tecnología de micrófonos, altavoces amplificadores y sobre todo, a la creación de equipos de medición, lo que posibilitó caracterizar los parámetros acústicos en un espacio (Doelle, 1972).

A partir del siglo XX, se registra una diversidad de aplicaciones de la acústica arquitectónica en espacios especializados como estudios de grabación y salas de concierto. Karl Kryter investiga sobre los efectos fisiológicos del ruido en los humanos, en la comunicación, la audiometría y los riesgos (Kryter, 1970). John S. Bradley de NRC en Canadá, por sus siglas en inglés National Research Council, ha desarrollado sus investigaciones sobre los aspectos que influyen en la inteligibilidad de la palabra en los salones de clase (Picard & Bradley, 2001), entre otros.

La norma NTC 4595 en Colombia se centra en los aspectos fundamentales de la acústica arquitectónica: el aislamiento y el acondicionamiento acústico. El primero se basa en la protección frente a ruidos provenientes fundamentalmente del exterior y el segundo, enfocado a la calidad acústica dentro del recinto (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC), 2006).

3.3.1. Confort auditivo en aulas

La correcta comunicación en el aula, es uno de los aspectos prioritarios para considerar al momento de evaluar la calidad del espacio. La característica acústica del aula es el medio en el que interactúan quienes hablan y escuchan. A su vez, afecta la señal del discurso y por consiguiente, altera la capacidad de entendimiento del mismo (Pelegrín-García & Brunskog, 2012).

Una deficiente calidad acústica en las aulas, se manifiesta en formas de ecos y ruidos molestos, lo que afecta la transmisión del sonido emitido por una fuente específica, en este caso, el docente o los propios estudiantes (Pattini, 2000). Para evitar estos problemas, un aula bien diseñada tiene en cuenta parámetros acústicos como el ruido de fondo y el tiempo de reverberación (Acoustical Society of America, 2010), los que además facilitan la escucha en los estudiantes (Kumar, 2009).

Además de problemas comunes en las aulas -especialmente en entornos tropicales- como los niveles altos en el ruido de fondo, dada la permeabilidad de las aulas hacia el exterior y el tiempo de reverberación, debido a la baja condición absorbente de los materiales al interior tanto alumnos, como docentes, deben elevar la voz al menos en 5 dB en la relación presión sonora entre la fuente y el ruido de fondo, para garantizar que la señal sonora pueda ser percibida por el cerebro, en entornos similares al presentado en la Figura 3-20.



*Figura 3-20: Centro comunitario y aulas Thon Mun, Camboya.
Fuente: <https://www.littledream.org/thon-mun>*

Estudios realizados por Dockrell & Shield (2006), demuestran los impactos negativos del ruido en el desempeño escolar, especialmente en las tareas verbales. Otras tareas que se vieron afectadas fueron las relacionadas con la memoria y lectura, frente a ruido de fondo prolongado (Ljung & Kjellberg, 2009). Otros estudios (Sutherland & Lubman, 2004) han avanzado sobre técnicas exequibles para que la comunidad educativa haga sus propios

diagnósticos sobre la calidad acústica del aula, sin depender de equipos costosos o de difícil consecución por parte de un público no experto.

Por otro lado, una deficiente calidad acústica tiene implicaciones negativas sobre los docentes, como la fatiga en el sistema vocal, falta de motivación, somnolencia (Zapata, et al., 2018) como también, en el deterioro de la audición, irritabilidad, dolor de cabeza (Medina, 2009). Estos y otros aspectos relacionados, sobrepasan los alcances del presente trabajo, sin embargo, es importante señalarlos.

El principal parámetro acústico para evaluar el aula en términos de la enseñanza-aprendizaje es la inteligibilidad del habla, la cual se reduce cuando los sonidos reverberan en todos los sentidos del espacio, como consecuencia de una deficiente calidad acústica, lo que se puede sumar al ruido de fondo alto (Taboada & Aguilar, 2008).

Autores como Zapata, et al., (2018) indican tres medidas modernas para determinar la incidencia del ruido de fondo y la acústica interior en la inteligibilidad: (i) la proporción de sonido útil (sonido directo o reflexiones tempranas) a sonido nocivo (ruido o reflexiones tardías), (ii) el porcentaje de pérdida de consonantes (ALcons) y (iii) el índice de Transmisión del Habla (STI). También es posible estimar la inteligibilidad a partir del ruido de fondo y el tiempo de reverberación, aunque la precisión es ligeramente inferior (Picard & Bradley, 2001).

Hay tres aspectos que tienen efectos directos en la inteligibilidad de la palabra: (i) la distancia entre el estudiante y el docente; (ii) el ruido de fondo y (iii) la fuente interna del ruido. Otros factores que influyen son la actividad que se realiza, el tiempo de exposición, antecedentes socioculturales, hábitos y edad, entre otros. (Medina, 2009). Para el diagnóstico acústico en un espacio además de la inteligibilidad, se debe evaluar la “dificultad de escucha” (Sato et al., 2005), la cual se define como el porcentaje de respuestas que indican un nivel de dificultad (Zapata, et al., 2018).

Para aulas de menos de 50 personas y en estado vacío, la norma ANSI / ASA S12.60 y Building Bulletin 93, recomienda entre 0.6 y 0.7 segundos en el tiempo de reverberación. Estudio como el realizado por Sato et al (2007) en oyentes jóvenes y adultos (Sato, Sato, Morimoto, & Ota,

2007), demuestran que el nivel de voz adecuado es de 60 dB con tiempo de reverberación entre 0 y 2 segundos. En el mismo estudio se identificó que en condiciones de ruido de fondo entre 40 y 50 dB (rango cercano al de las aulas), el nivel de voz más bajo requerido fue de 65 dB. (Zapata, et al., 2018). Para la población de edad avanzada este nivel fue de 65 dB con niveles de ruido de 55 dB o menos. Se concluyó que para un ruido entre 40 y 50 dBA, el nivel de voz más bajo requerido fue de 65 dBA. Si el ruido era de unos 50 y 55 dBA, el nivel de voz tenía que proporcionar una relación señal / ruido de 15 dBA. Para un nivel de ruido entre 60 y 70 dBA, la relación señal / ruido debe ser de 10 dBA. Además, el nivel máximo de voz aceptable era de 80 dBA para niveles de ruido entre 40 y 55 dBA o 85 dBA si el ruido se encontraba entre 55 y 70 dBA (Sato, Morimoto, & Ota, 2011).

En oposición a los hallazgos anteriores, la Organización Mundial de la Salud OMS establece en 35 dB el valor adecuado para el ruido de fondo, señalando que valores superiores a 80 dB tienen impacto en el comportamiento agresivo. (Zapata, et al., 2018).

Entre los aspectos que influyen en las condiciones acústicas de las aulas, están la capacidad de los materiales para impedir el paso del sonido, el grado de aislamiento y sellamiento y las reflexiones en las superficies opuestas, las cuales pueden generar resonancias. También se debe considerar la dimensión del espacio, presencia de mobiliario y cantidad de personas (Medina, 2009).

3.4. Norma Técnica Colombiana NTC 4595: Ingeniería civil y arquitectura. Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares

La norma NTC 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares, tiene por objetivo establecer los requisitos para el planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares y para la evaluación y adaptación de infraestructuras existentes, que permitan mejorar la calidad de la educación. Esta norma se estructura en la clasificación de los ambientes, requisitos de accesibilidad, instalaciones

técnicas, comodidad y seguridad. En el Capítulo: Clasificación de los ambientes, la norma establece los siguientes (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

Tabla 3-1: Clasificación de ambientes

Ambientes	Tipo de trabajo	Tipo de espacio	Requerimientos
A	Individual y en grupos de 2 a 6 personas	Aulas de clase para pre jardín, jardín, transición, básica y media, y especial	No requieren instalaciones técnicas
B	Individual y en grupos de 2 a 6 personas	Biblioteca, aulas de informática y centro de ayuda educativa	Materiales móviles y/o equipos conectables
C	Individual y en grupos de 2 a 6 personas	Laboratorios de ciencias, aulas de tecnología y talleres de artes plásticas.	Empleo intensivo de equipos e instalaciones con altas especificaciones de seguridad
D	Individual y colectivo	Campos deportivos	Altos requerimientos de área, ventilación, iluminación y almacenamiento.
E	Individual y colectivo	Corredores y espacios de circulación	Áreas de almacenamiento y exhibición
F	Individual y colectivo	Foros, teatros, aulas múltiples, salones de música	Equipos conectables y condiciones especiales de comodidad auditiva
Complementarios		Ambientes para la administración, cafetería y cocina y sanitarios	Dependiendo de cada tipo de espacio.

Fuente: elaboración propia a partir de la NTC 4595

En el Capítulo: Comodidad Ambiental, la norma indica las características ambientales para proveer a los distintos espacios que conforman las instalaciones escolares y garantizar unas condiciones básicas de comodidad (ICONTEC, 2000). A continuación, se presenta el cumplimiento de las aulas del estudio, en cada uno de los temas.

3.4.1. Comodidad térmica

Para la comodidad térmica, en el numeral 7.3, la norma *hace referencia a las condiciones ambientales necesarias para garantizar que un número máximo de usuarios de las instalaciones escolares no considere el clima como un factor que perturbe el desarrollo de sus actividades* (ICONTEC, 2000). La norma hace énfasis en la morfología de los edificios y no contempla el uso de equipos mecanizados para proveer las condiciones de comodidad. La

anterior es una afirmación general, sin referencia a la *NTC 5316: Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas*, o a al análisis del confort térmico bajo el modelo analítico (en relación con los parámetros ambientales y de los ocupantes) y/o bajo el modelo adaptativo (dependiente de la temperatura promedio exterior), abordado en el capítulo de confort No. 62). En la tabla 3-3 se indican los tres climas para los que la norma NTC 4595 establece las recomendaciones:

Tabla 3-2: Clasificación climática. NTC 4595 año 2000

Clima	Temp. min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	HR Máx. (%)	HR Min. (%)	HR Máx. (%)
Moderado frío y templado	5	22	Marcadas	40	60
Cálido seco	5	35	Acentuados	10	60
Cálido húmedo	22	32	Constante	65	95

Fuente: elaboración propia a partir de la NTC 4595

Para promover la ventilación natural al interior de las aulas, se recomienda aprovechar las condiciones exteriores con una orientación de 45°, y cuando no sea posible, disponer de aletas y otros elementos que los conduzcan. Más adelante se hacen recomendaciones en el caso que la toma de aire no sea directamente del exterior (Figura 3-21). También indica el área para las aberturas, las cuales para el caso de Cali deben ser de 1/6 del área del salón. Para el control de la radiación solar se recomienda que la mayor cantidad de superficies estén en el eje norte-sur y, de no ser así, deben presentar elementos de protección solar como persianas, aleros, sin indicar las características, cantidad y disposiciones de los mismos.

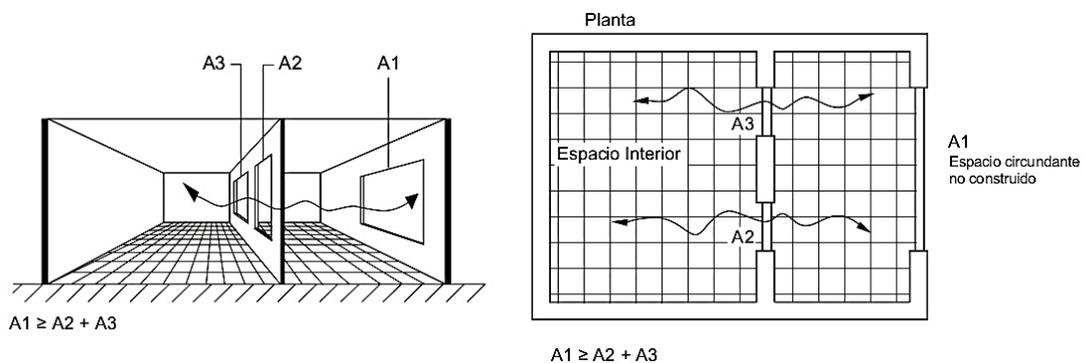


Figura 3-21: Relación aberturas para la ventilación NTC 4595. Fuente: (ICONTEC, 2000)

En cuanto a los materiales de la envolvente, se indican los máximos del factor de ganancia solar para las fachadas en el eje norte-sur y cuando presenten orientaciones diferentes. En los

numerales 7.3.9 y 7.3.11 se listan algunos porcentajes para los materiales más usados, sin embargo, no se indica el método para hallar el factor de ganancia solar para otros casos. En el mismo sentido, para el clima frío, se señala que se debe asegurar una transmitancia térmica inferior a 3W/m^2 por grado centígrado, sin indicaciones de la metodología para su cálculo, o la relación con el factor de ganancia solar o más aun, con las indicaciones para los otros climas.

Otra de las recomendaciones, es el uso de paredes mäsicas de un espesor de 0.15m para los climas moderado y cälido seco, pero no se hace referencia para los otros climas, como tampoco se indica el factor de ganancia solar para materiales con ese espesor. Las recomendaciones para las cubiertas son muy básicas, especialmente para el clima de Cali. Solo se recomienda la presencia de cielo raso, cuando la cubierta es una placa delgada (fibrocemento, arcilla, metal), y que sólo el factor de ganancia solar sea de 4%. Y si la cubierta es maciza, solo se recomienda el uso de un material reflejante.

Al final se indica que los diseños obtenidos a través de cálculos, mediciones en sitio o simulaciones, que modifiquen lo dispuesto por la norma y obtengan valores cercanos, pueden ser aceptados, lo que deja aún más indefinido lo general de la norma en el tema de comodidad térmica. Para el logro del confort térmico en climas en situación tropical, el análisis arquitectónico de la envolvente (Liang et al., 2012), es uno de los aspectos claves, especialmente con las estrategias de protección solar para el trópico (Subhashini & Thirumaran, 2018).

3.4.2. Comodidad visual

Para la comodidad visual la norma establece las condiciones para garantizar la visibilidad en las distintas actividades mediante un ambiente lumínico con promedio de 300 lux (para la versión del año 2000) y 500 lux (para la versión del 2015). Enfatiza el aprovechamiento de la luz natural, lo cual permite minimizar la energía eléctrica consumida por ésta, y ahorrar hasta el 80% de la energía eléctrica (Monteoliva y Pattini, 2013). Niveles de iluminancia inferiores a los 300 lux recomendados por la norma, reducen la percepción de los estímulos visuales, afectando el rendimiento cognitivo (Jago & Tanner, 1999).

La norma establece indicaciones sobre la cantidad y calidad de la luz y otras recomendaciones generales, así como el área que deben tener las aberturas en relación con el área de la planta, que, para el clima de Cali, debe ser 1/5 del área del salón. Cuando las aberturas presentan materiales traslúcidos o elementos de obstrucción, se recomienda un aumento del 60% del área, independiente de las características de los elementos, en cantidad, disposición y color. También, en relación con las aberturas, cuando presenta una orientación diferente al eje norte-sur, se recomienda en el numeral 7.2.8, incorporar *elementos de fachada tales como aleros, persianas, aletas, etc.* (ICONTEC, 2000). Sin embargo, el diseño de estos elementos es indefinido, con el riesgo de disponer de menor cantidad de elementos o por el contrario, llegar a un diseño sobredimensionado (Díaz, Vásquez, Cano, & Cuervo, 2013).

De manera posterior, hay indicaciones como la provisión de luz natural proveniente del exterior y no de otros espacios interiores, la separación entre edificaciones Figura 3-22 y, coeficientes de reflexión de luz, las cuales no guardan relación con las aberturas o elementos de obstrucción. Lo anterior, indica que la norma se centra en las condiciones para el ingreso de luz natural, y no profundiza en otros factores como el contraste y la luminancia o brillo.

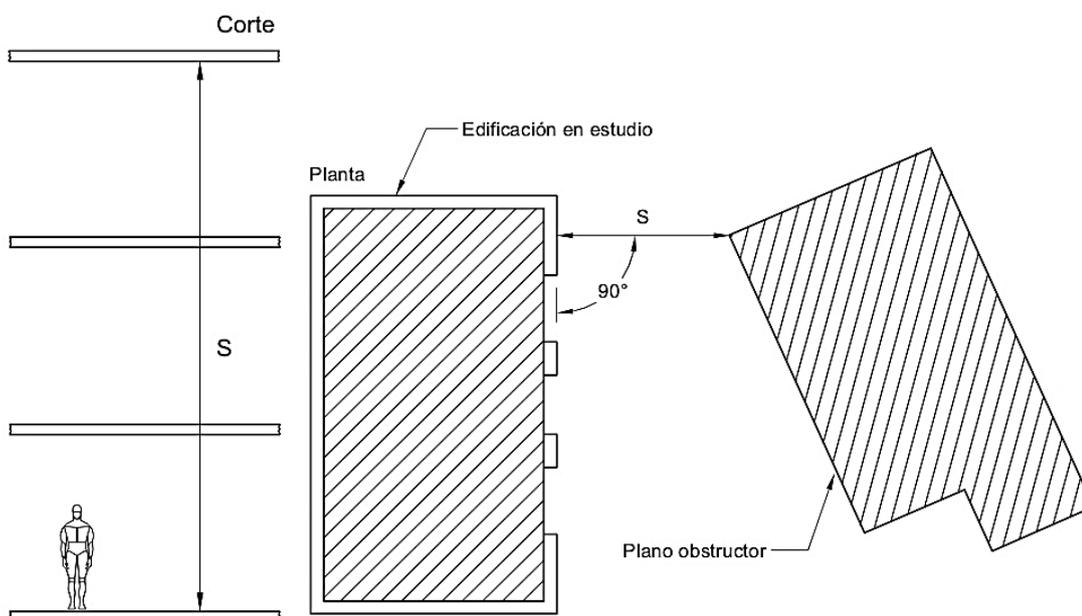


Figura 3-22: Separación entre edificaciones NTC 4595. Fuente:(ICONTEC, 2000)

Al igual que en el componente anterior se indica que los diseños obtenidos a través de cálculos mediciones en sitio o simulaciones que modifiquen lo dispuesto por la norma y obtengan

valores cercanos, pueden ser aceptados, lo que deja aún más indefinido, lo general de la norma en el tema de comodidad visual.

3.4.3. Comodidad auditiva

Las condiciones acústicas idóneas, permiten el entendimiento del discurso del docente y la comunicación efectiva con los alumnos, lo que lo convierte en uno de los aspectos más relevantes (San Juan, Hoses, y Martini, 2014). La norma se basa en la adecuación sonora, sin el uso de medios electrónicos para su amplificación. Establece para esto, las condiciones para el acondicionamiento acústico en las aulas, específicamente en los temas de aislamiento acústico y el acondicionamiento interior.

El aislamiento acústico en la norma, busca mantener los niveles de intensidad de sonido dentro del rango recomendado en los distintos ambientes de un colegio y, para las aulas de 40 a 45 dB (Tabla 3-3), mientras para el acondicionamiento acústico interior, establece entre 0.9 a 1 segundos, como el rango óptimo para asegurar la comunicación clara en el espacio (ICONTEC, 2000).

Tabla 3-3: Ruido de fondo recomendado para los ambientes escolares por la norma NTC 4595

Ambientes (Recintos sin ocupar)		Nivel de intensidad de sonido (dB)	Caracterización
B: Biblioteca, aulas de informática y centro de ayuda educativa	F: Foros, teatros, aulas múltiples, salones de música educativa	35 a 40	Silencio
C: Laboratorios de ciencias, aulas de tecnología y talleres de artes plásticas	A: Aulas de clase para pre jardín, jardín, transición, básica y media, y especial	40 a 45	Conversación en voz baja
	Oficinas	45 a 50	Conversación natural
E: Corredores y espacios de circulación. Baños	D: Campos Deportivos	Hasta 60	Voz humana en publico
	F: Foros, teatros, aulas múltiples, salones de música Depósitos		

Fuente: elaboración a partir de la norma NTC 4595

La necesidad de agrupar los distintos ambientes en el colegio, es una de las primeras recomendaciones para asegurar que los ruidos del ambiente exterior no superen los 45 dB. Las aulas deben contar con materiales aislantes de ruidos aéreos que garanticen la atenuación

sonora, para lo cual se recomiendan algunos materiales. Por el nivel máximo permitido en las aulas, no se requiere la presencia de materiales absorbentes en el piso. Por el contrario, sí se exige que todos los espacios con cubierta al exterior, tengan cielo raso falso, o suspendido con materiales con capacidad de atenuación sonora del exterior no inferior a 10 dB.

En lo referente al acondicionamiento acústico, establece un límite de 8 mts de distancia del último puesto con respecto a la fuente sonora, como también la ubicación de materiales absorbentes en la parte alta de las paredes y en el cielo raso.

Las anteriores recomendaciones de la norma no se relacionan con disposiciones realizadas de manera previa en los Capítulos de comodidad térmica y visual, como son las áreas de las aberturas, los acabados de los materiales o la relación interior-externo del aula. Como tampoco, con las actividades propias del colegio como los recreos o actividades lúdicas en los corredores y patios entre las aulas, las que afectan las actividades cotidianas de las mismas. Las recomendaciones son generales y no detallan porcentajes de materiales a implementar al interior, en relación con el área de apertura, ni caracteriza la protección en pisos y cielos con porcentajes y relación entre el tratamiento de los muros.

Por último, la norma indica que los estudios deben ser llevados a cabo por especialistas, quienes pueden modificar las disposiciones, siempre y cuando no presenten resultados inferiores a los recomendados, lo que deja más ambigua la implementación de la misma.

3.4.4. Síntesis

Las recomendaciones de la norma NTC 4595 se pueden organizar en 5 categorías o grupos: i) Dimensiones de aberturas o ventanas, ii) Elementos de protección solar en fachada, iii) Materiales de la envolvente, iv) orientaciones y v) elementos del contexto inmediato.

Como se observa en la Figura 3-, los temas térmico y visual guardan similitud en los temas de las recomendaciones (a pesar que la norma no presenta una relación transversal entre ellos). Y las estrategias del tema auditivo están centradas en los materiales y condiciones del contexto inmediato.

A continuación se presenta la agrupación propuesta en el presente estudio (Figura 3-), a partir de las cuales se realiza la evaluación de la norma en las aulas del estudio (ver Capítulo 7), para luego estructurar las estrategias de diseño (ver Capítulo 8).

		COMPONENTES DEL CONFORT			
		TERMICO	VISUAL	AUDITIVO	
ALTERNATIVAS DE DISEÑO NORMA NTC 4595	1	Aberturas	Relación con el área 1/6m, 1/9m	Relación con el área 1/5. 60% + si hay protección	
	2	Protección radiación	Aleros y persianas en orientación distinta a norte-sur		
	3	Materiales	Alternativas desde factor de ganancia solar Materiales con masa de 0.15 m Si la cubierta es placa delgada + cielorraso. Cubierta maciza con material reflejante	Alternativas desde coeficientes de reflexión de luz Cielorraso con atenuación sonora aulas de últimos pisos	Alternativas desde la absorción acústica Materiales absorbentes en lo alto de paredes
	4	Orientación	Superficies norte-sur 45° para los vientos. Superficies hacia norte-sur		
	5	Contexto	Ventilación del exterior	Separación entre edificios Dimensión de Patios	Agrupación de espacios

Figura 3-23: Recomendaciones de la norma NTC 4595 en los temas térmico, visual y auditivo.
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 4

4. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA

4.1. Introducción

Colombia se encuentra localizada al nor-occidente de América del Sur. Tiene una posición estratégica al tener costa hacia los dos mares: el océano pacífico al occidente y el océano atlántico al Norte. Al nor-occidente limita con Panamá, país vínculo con América central y comparte la selva amazónica con otros países vecinos: hacia el sur y oeste con Ecuador, Venezuela y Brasil. Sus puntos extremos determinan una latitud entre los 12.26° N en el Departamento de la Guajira y 4.12° S en la desembocadura de la quebrada de San Antonio, hacia el río Amazonas (Figura 4-1).

El Municipio de Santiago de Cali, es capital del Departamento del Valle del Cauca, localizado al suroeste del país, a una latitud de 3.43° N. Al departamento lo atraviesa la cordillera occidental y limita al occidente con el océano pacífico, dos determinantes naturales y geográficas que definen su paisaje y clima (Figura 4-2).



Figura 4-1: Localización de Colombia



Figura 4-2: Localización del Departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia

El departamento del Valle del Cauca es uno de los 32 departamentos de Colombia. El tercero más poblado del país (Figura 4-3) y Santiago de Cali, la capital, tiene parte de su territorio en la cordillera occidental y en el Valle del río Cauca como se presenta en la Figura 4-4. Cuenta con 2.369.821 ⁽¹⁾ habitantes, precedida por Medellín (2.417.325) y la capital de Colombia Bogotá como la más densa (7.674.366).

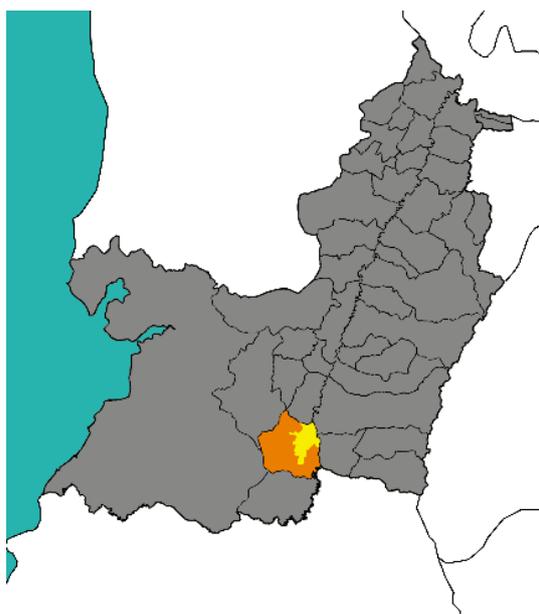


Figura 4-3: Localización del Municipio de Cali

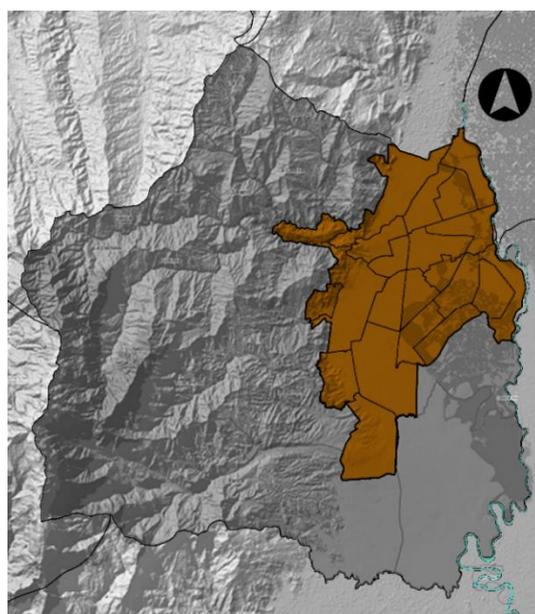


Figura 4-4: Localización de la capital Santiago de Cali

Fuente: elaboración propia

¹ Cali en cifras 2015.

El relieve es otra de las condiciones determinantes del clima en Colombia, en donde se presentan condiciones diversas como las costas marítimas al norte y occidente, zonas de llanos hacia el oriente y las zonas montañosas conformadas por las cordilleras que atraviesan el territorio. El punto más alto es el nevado del Huila a 5.750 msnm, mientras las zonas más bajas se encuentran a nivel del mar en las zonas costeras (Figura 4-5).

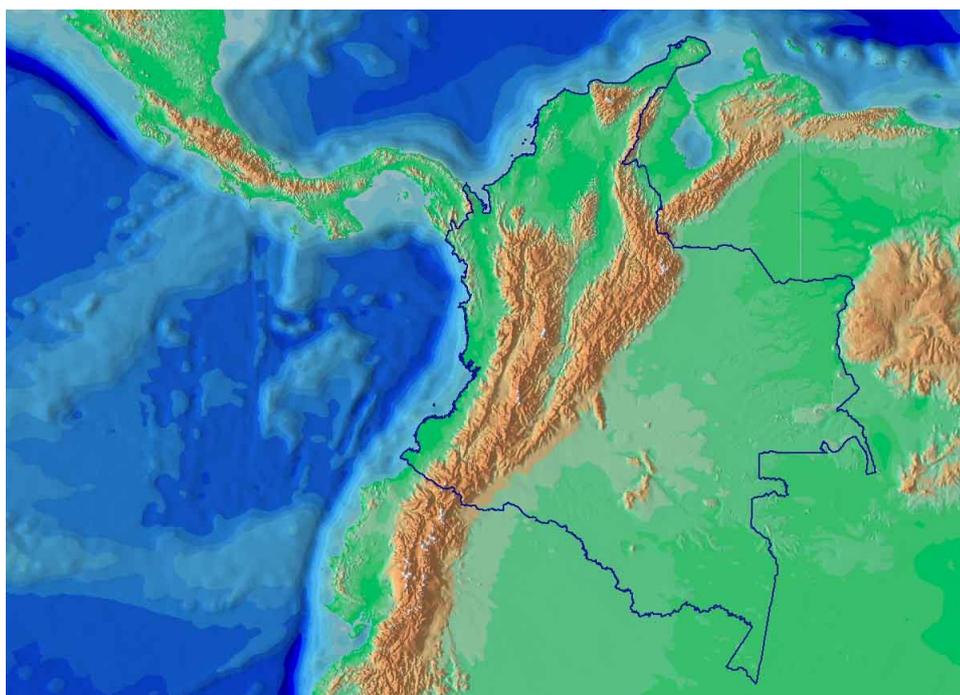


Figura 4-5: Relieve colombiano.

Fuente: <https://www.lifeder.com/relieve-colombiano/>

Las variaciones climáticas como temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, sufren diferenciaciones en función de la altura sobre el nivel del mar y no por régimen estacional como ocurre en latitudes en las zonas templadas y polares en la tierra, lo que se debe principalmente a su cercanía con la línea ecuatorial.

En Colombia, es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), quien investiga y produce la información oficial histórica y actual, sobre el estado del medio ambiente, la cual es la base para la formulación y ajuste de políticas públicas y acciones del sector privado. El IDEAM presenta clasificaciones climáticas de Colombia según Thornthwaite, Köppen y Caldas-Lang, las cuales se diferencian por los parámetros climatológicos que toman como base. El modelo de Caldas-Lang es el empleado como base

para la normativa vigente ⁽²⁾ y para la clasificación climática presentada por Departamentos, por lo cual en el presente estudio se parte de las definiciones allí presentadas.

El modelo Caldas-Lang: Resulta de la combinación de dos modelos. En el primero, de Caldas, los climas se definen a partir de los pisos térmicos: glacial, páramo, frío templado y cálido. En el segundo, el de Richard Lang, los climas se definen a partir de la precipitación anual y temperatura media, donde se obtienen las categorías: desierto, árido, semiárido, semi-húmedo, húmedo y súper húmedo, se subdivide el clima cálido en dos categorías: cálido húmedo y súper húmedo (Figura 4-6).

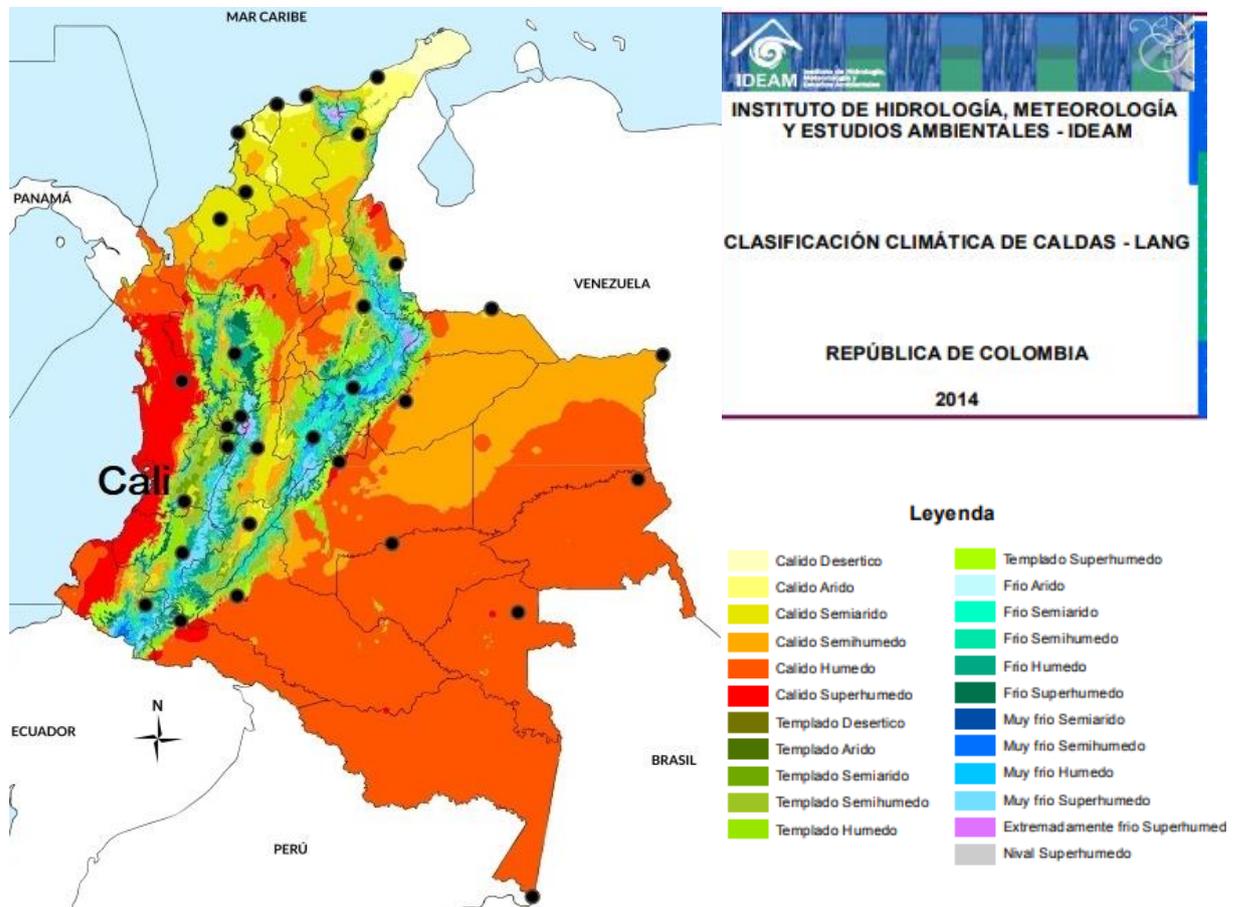


Figura 4-6: Clasificación climática de Colombia, según modelo Caldas Lang.

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia-IDEAM

² Decreto 1285 de 2015 del 12 de junio de 2015

4.2. El clima en el Valle del Cauca

El departamento del Valle del Cauca, del cual Cali es su capital, se encuentra ubicado hacia el sur occidente colombiano. Lo atraviesa de norte a sur la cordillera occidental y tiene como límites naturales la cordillera central al oriente y el océano pacífico al Occidente. Presenta una altura máxima sobre la cordillera occidental de 4.080 msnm, mientras su altitud promedio es de 1.000 msnm.

Por otro lado, Santiago de Cali, su capital, tiene una altura promedio de 995 msnm, y una superficie total de 560,3 km², mientras el área urbana es de 120,9 km² (21.6%) está localizada en el valle geográfico del río Cauca. Los municipios que Limitan a Cali al norte son la Cumbre y Yumbo; al oriente Palmira, Candelaria, y Puerto Tejada; al sur Jamundí y al occidente Buenaventura y Dagua. La superficie total de la ciudad de Cali es de 560,3 km², mientras el área urbana es de 119,2 km² (21.3%). El área urbana se divide en 22 comunas para su administración, las cuales corresponden a los barrios aledaños con condiciones físicas (Figura 4-7).

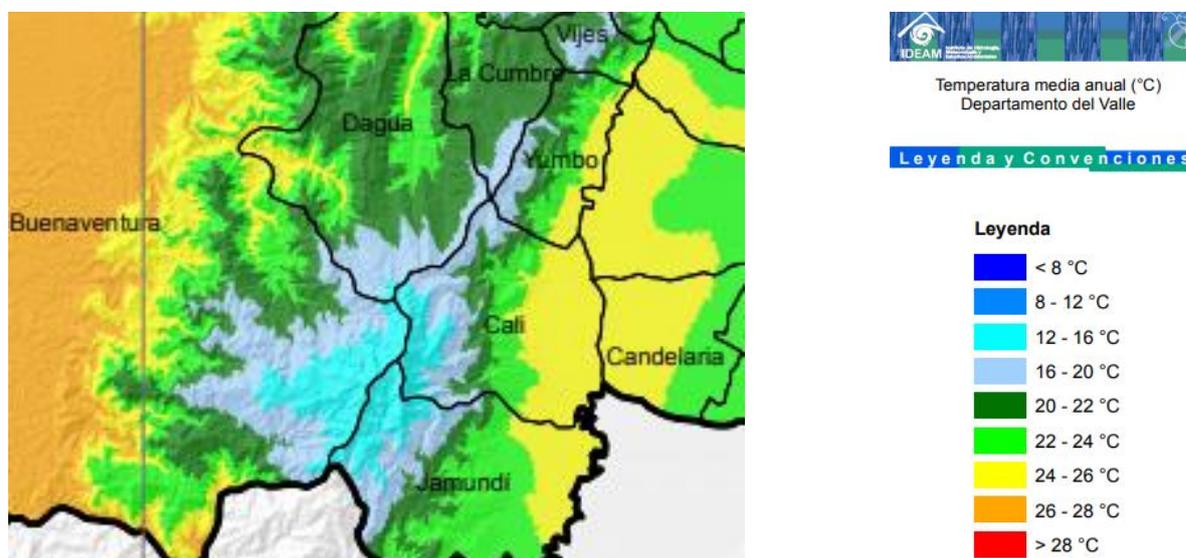


Figura 4-7: Temperatura media Departamento Valle del Cauca.

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia-IDEAM

Según la clasificación climática del IDEAM, en el Valle del Cauca como en todos los departamentos con presencia de cordillera, se encuentra variedad de climas de manera

simultánea durante todo el año. La mayor parte del territorio del Valle del Cauca se encuentra identificado dentro del **clima templado**, en todas sus variedades, con temperaturas medias entre 12°C y 24°C-, con algunas zonas frías localizadas en la parte alta de las cordilleras, hasta clima súper húmedo hacia el océano pacífico.

4.3. El clima de Santiago de Cali

La variedad de alturas y geografía dentro del departamento, influyen y determinan las condiciones climáticas de Cali, especialmente lo que se refiere al régimen de vientos y lluvias determinadas por la proximidad al océano pacífico, la cordillera occidental y central y como bien se indicó al principio, la proximidad con la línea ecuatorial (Tabla 4-1).

Tabla 4-1: Información climática general Cali

Localización	Capital del Departamento del Valle del Cauca
Clima general	Cálido árido o cálido seco, con menor presencia de Cálido semi-húmedo hacia la ladera sur-occidental
Latitud	3,27°Norte
Longitud	Al este: Páramo de Barragán. 75° 41' 32", Al oeste: Bocas del Naya 77° 00' 33"
Altitud promedio	995 msnm (metros sobre nivel del mar)
Altura solar	21 de diciembre: 9hs y 15 hs: 39°; 12 hs: 62° 21 de marzo-sept: 9hs y 15 hs: 45°; 12 hs: 86° 21 de junio: 9hs y 15 hs: 42°; 12 hs: 70°
Temp. média anual:	25°
Temp. mínima média anual:	19,4°
Temp. máxima média anual:	30°
Humedad relativa mínima media (agosto)	67 %
Humedad relativa máxima media (abril)	75%
Precipitación máxima media abril):	165.6 mm
Precipitación mínima media (agosto):	45.7 mm
Amplitud térmica:	Desde 9° hasta 12° en un día

Fuente: Elaboración propia

Como bien lo indica el Plan de Ordenamiento Municipal de Cali (POT), en el Documento No. 5 de soporte: Los Elementos de la Estructura Territorial Municipal (Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM), 2000), las variables climáticas en Cali como en el resto de las ciudades en Colombia son determinadas en función de la altura sobre el nivel del mar, que oscilan entre 956 msnm y 4.080 m.s.n.m., para el caso de Cali, y no por régimen estacionales (Figura 4-8).

El régimen de precipitación media mensual presenta a lo largo del año una distribución muy bien definida con dos períodos húmedos que corresponden a los meses de Marzo-Abril-Mayo y Octubre-Noviembre-Diciembre y dos períodos secos correspondientes a los meses de Enero-Febrero y Junio-Julio-Agosto-Septiembre” (Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM), 2000), (Figura 4-8).



Figura 4-8: Gráfica de síntesis climática de Cali.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del IDEAM

El IDEAM identifica a Cali como zona con clima cálido árido, con baja presencia del cálido semi-húmedo en la zona de ladera sur occidental (Figura 4-9) Las características climáticas principales en el cálido semi seco son temperaturas promedio por encima de 24°C, amplias variaciones térmicas durante un mismo día, las cuales oscilan entre 9°C y 12°C, y humedad relativa por debajo de 75%, estando en ese límite en el mes más lluvioso. Si bien la temperatura media se encuentra dentro de los rangos de confort, las máximas temperaturas medias máximas oscilan entre 30.5°C y 31.0°C hacia los meses de marzo, agosto y septiembre. Las temperaturas mínimas oscilan entre el rango de 19°C.

Las condiciones de precipitación son diferenciadas, siendo entre bajas y moderadas para la parte de la ciudad caracterizada como valle geográfico del Alto Cauca, mientras hacia las estribaciones de la cordillera occidental, hacia el mar, las lluvias se incrementan. Los periodos de mayores precipitaciones son de abril a mayo y de octubre a diciembre, aproximadamente entre 13 y 17 días del mes, con volúmenes máximos de lluvias entre 165.6 mm y 147.8 mm en los meses de abril y mayo respectivamente, meses con la humedad relativa más alta (Figura 4-10).

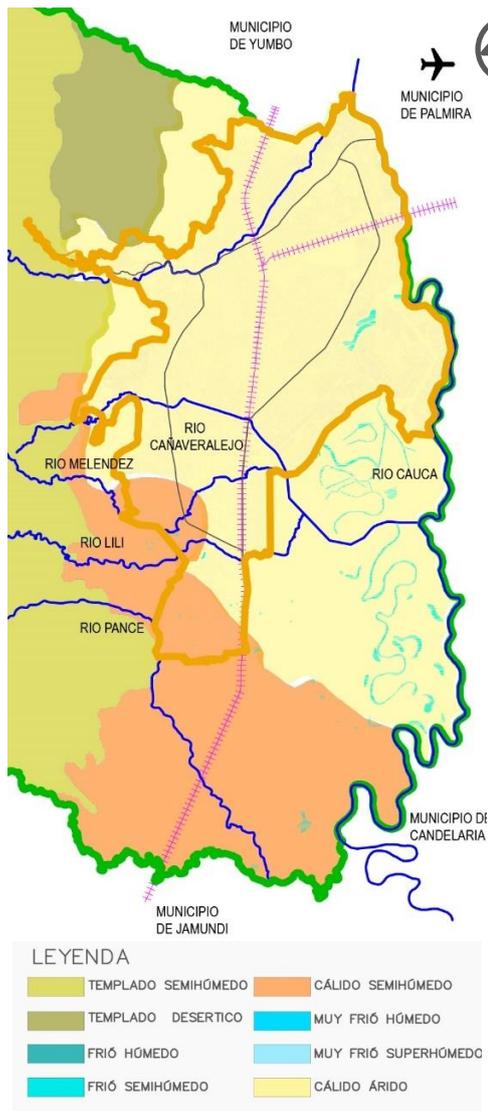


Figura 4-9: Mapa clasificación climática en el Valle del Cauca

Fuente: Elaboración propia, basada en información del IDEAM y del POT 2014-DAPM.

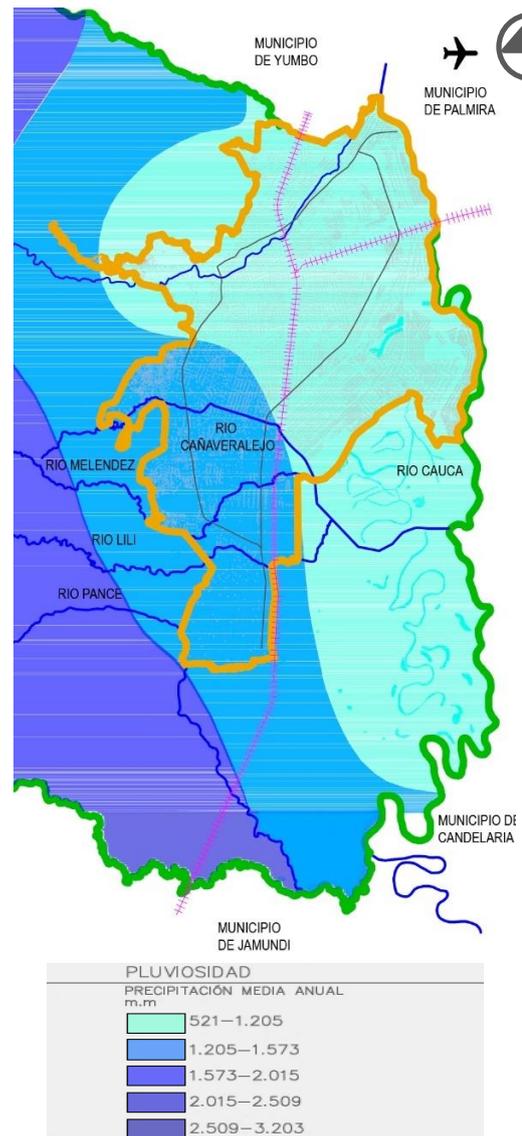


Figura 4-10: Precipitación en el Valle del Cauca

En contraste con los periodos de mayor precipitación, los periodos más secos, entre enero-febrero y junio a septiembre, presentan hasta un 45% de humedad relativa, correspondiendo a los momentos más altos de brillo solar (el pico se presenta en julio con 5,7 hora/día) en estos momentos, existe la influencia de vientos derivados de la Zona de Convergencia Intertropical (ICTZ), con presencia de vientos de ambos hemisferios.

En el primer periodo del año, hay influencia de los vientos alisios del noroeste que entran por la cuenca del río Cauca por el norte, son vientos estables, que generan altas velocidades en la tarde, poca nubosidad y baja humedad en la atmósfera. Entre junio y agosto los vientos alisios

del suroeste ascienden por la cordillera y descienden como masas de aire caliente y seco (Figura 4-11).

Según establece el Osso (Observatorio Sismológico del Suroccidente-OSSO. Universidad del Valle, 1994), el aire presente en el fondo de la cuenca del valle se calienta y sube hacia las laderas al occidente de la ciudad, mientras el aire más fresco desciende hacia el valle. Este fenómeno produce condensación y precipitación, es por esto que las mayores lluvias se presentan hacia la zona media de ladera. Después de las 4 p.m. las cuencas de los ríos dejan de recibir la radiación solar directa, se enfrían y originan los vientos fríos que bajan al valle, junto con los vientos fríos que llegan del océano pacífico, lo que se refleja en el comportamiento diario y anual de los vientos con predominancia nor-oeste (Figura 4-12 y Figura 4-13).

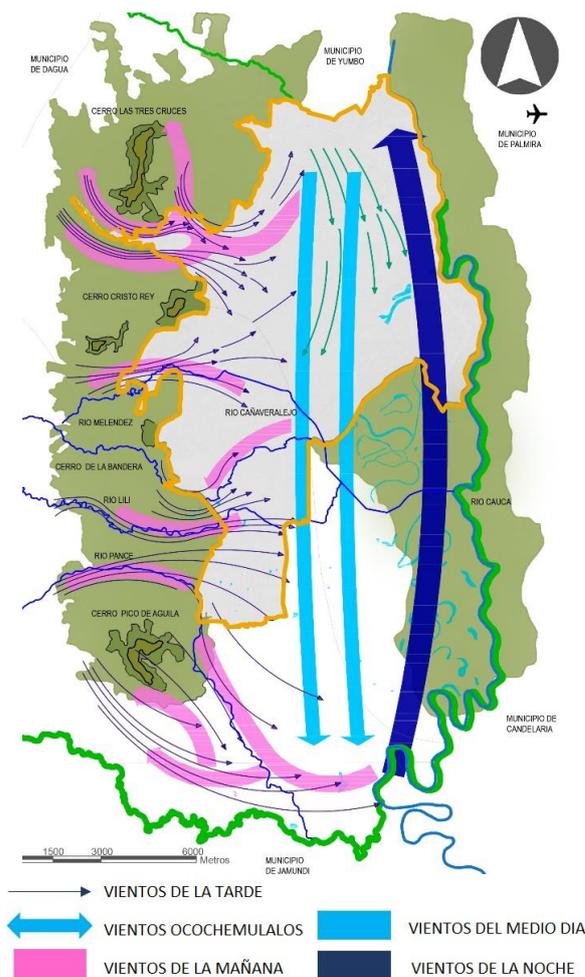


Figura 4-11: Régimen de vientos en Cali

Fuente: Elaboración propia, basada en información del POT 2014-DAPM.

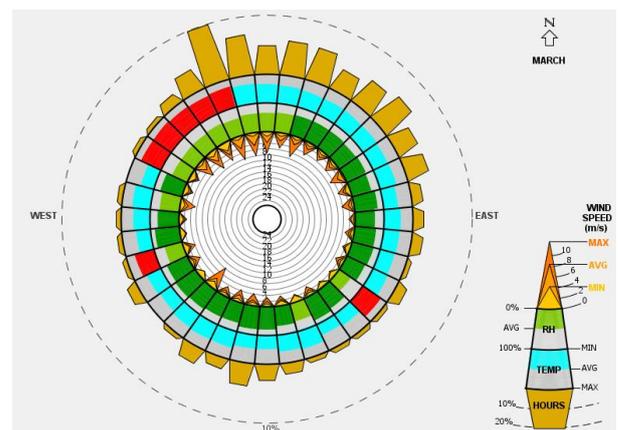


Figura 4-12: Comportamiento vientos en un día típico del mes de marzo

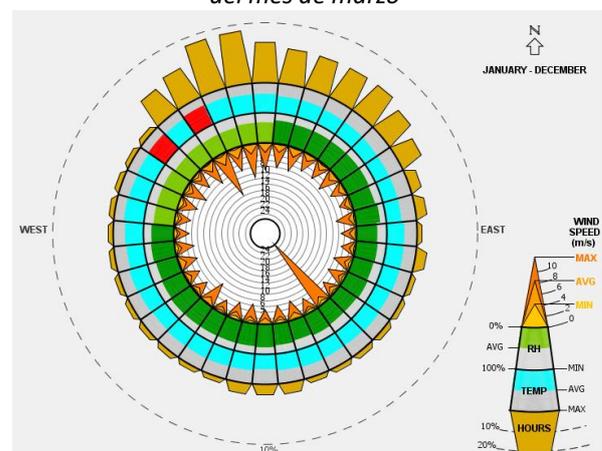


Figura 4-13: Comportamiento promedio anual de vientos

Fuente: Sotware Climate Consultant 5.3

El IDEAM dispone de promedios climatológicos entre los años 1981 y 2010 para la ciudad, los cuales conforman el panorama general climático. Estos datos se toman de las estaciones localizadas en la Universidad del Valle-Univalle al sur a los 985 msnm, con 3,27° y Base Aérea Marco Fidel Suarez, localizada al norte a los 954 msnm y 3.22° Latitud Norte.

Para efectos del presente estudio, se realizó un promedio de los datos de ambas estaciones, considerando sus localizaciones diferenciadas en la ciudad, con excepción de datos como el brillo solar, evaporación, insolación e irradiación, los cuales se encuentran solo para la estación Univalle al sur de la ciudad.

Según los valores promedios podemos observar (Tabla 4-2) que los valores son similares durante todos los meses del año, en donde las temperaturas medias, máximas medias y mínimas medias varían menos de 1°C mes a mes. Para el caso de la humedad relativa la diferencia entre los meses es mayor con variaciones hasta del 8%, al igual que las precipitaciones, las cuales se pueden duplicar en los meses con mayor intensidad de lluvias.

Tabla 4-2: Promedios climatológicos 1981-2010 para Cali

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MEDIA	24,9	25,1	25,0	24,7	24,8	24,7	25,1	25,5	25,2	24,5	24,2	24,4	24,8
TEMPERATURA MAXIMA MEDIA	30,1	30,3	30,2	29,7	29,5	29,5	30,2	31,0	30,5	29,6	29,0	29,1	29,9
TEMPERATURA MINIMA MEDIA	19,5	19,6	19,7	19,7	19,8	19,4	19,0	19,1	19,2	19,3	19,4	19,6	19,4
BRILLO SOLAR	5,4	5,2	5,0	4,6	4,6	5,2	6,0	6,0	5,1	4,5	4,5	4,8	5,1
IRRADIACION SOLAR MEDIA (Wh/m ² X DIA)	4385,4	4360,8	4373	4303,9	4138,2	4299,1	4628,5	4643,8	4631,4	4256,1	3998,5	3971,9	4332,6
INSOLACION (DIAS SIN BRILLO SOLAR)	1.18	1.44	1.97	2.47	2.00	1.09	0.74	0.76	1.79	1.88	1.79	1.59	1.56
PRECIPITACION (mm)	88,7	85,3	121,9	165,6	147,8	78,1	55,3	45,7	86,4	140,3	144,0	107,0	1266,1
DIAS CON LLUVIA	10,7	10,3	13,8	16,8	14,8	11,1	8,8	8,1	11,9	16,9	15,5	13,0	147,1
HUMEDAD RELATIVA	71,4	71,3	72,3	75,1	75,1	73,4	70,0	67,0	69,3	73,1	74,7	74,4	72,2
EVAPORACION	120,4	119,7	128,1	110,7	110,4	112,3	129,0	140,6	134,9	117,5	100,7	104,9	1362,3
EVOTRANSPIRACION POTENCIAL	122,2	112,3	126,2	114,2	115,3	114,8	131,4	138,3	125,1	117,3	105,5	112,1	1434,3

Fuente: Elaborado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia-IDEAM

De lo anterior se pueden identificar condiciones similares en cuanto a las temperaturas, con dos periodos de mayores temperaturas y dos periodos con mayor intensidad de lluvias, siendo agosto y abril los meses con las condiciones de temperatura y precipitación más altas. Es así como a las condiciones de periodos secos y lluviosos que define el IDEAM, para Cali estas condiciones serían permanentes, debido a la presencia de lluvias en todos los meses (Figura 4-14).

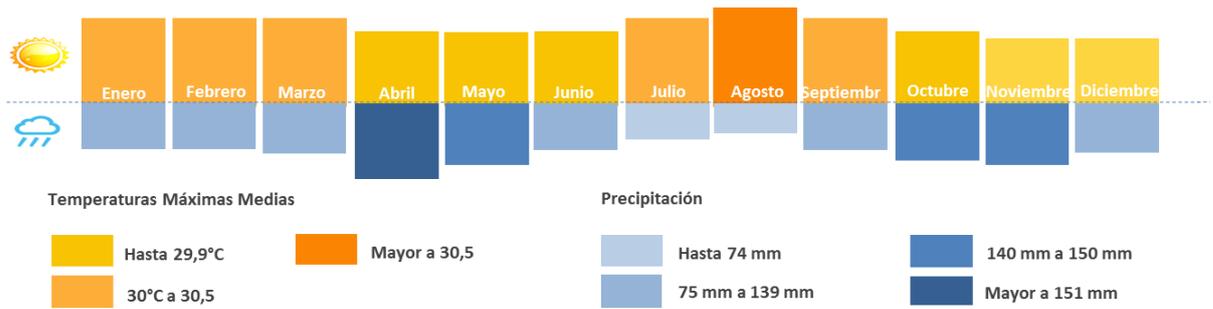


Figura 4-14: Clima en Cali: temperaturas y lluvias
 Fuente: Elaboración propia a partir de la información del IDEAM

Sin embargo, con el objetivo de profundizar en la caracterización climática de la ciudad, en el presente estudio, se analizaron los datos de las siguientes estaciones climatológicas, localizadas en la zona urbana de la ciudad (Figura 4-15), con el objetivo de identificar diferencias significativas entre cada una, hasta profundizar en el comportamiento climático de un día.

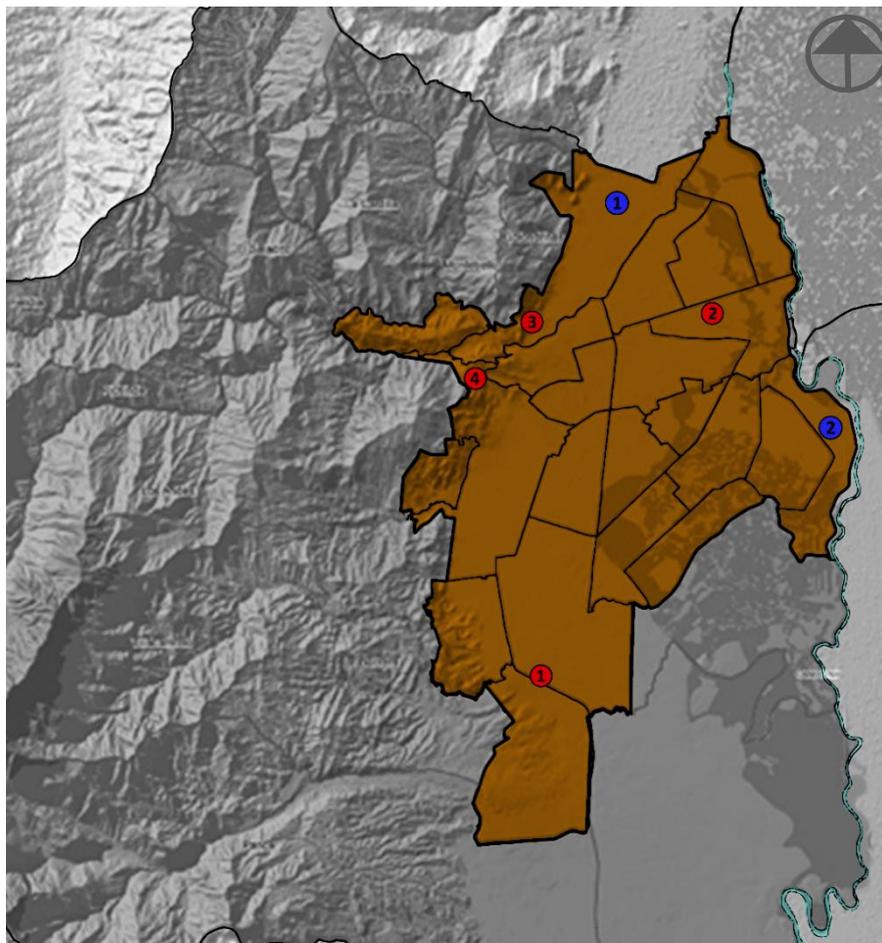


Figura 4-15: Localización estaciones meteorológicas en la zona urbana
 En azul estaciones del DAGMA: 1. Flora; 2. Compartir.
 En rojo estaciones de UNIVALLE: 1. Univalle; 2. Base Aérea; 3. Cali Sede; 4. Siloé.
 Fuente: Elaboración propia

Por la disponibilidad de la información, el siguiente análisis corresponde a los datos tomados en el año 2014, si bien no permite hacer un panorama climatológico-histórico, si se logra al comparar el comportamiento de las distintas zonas de la ciudad. A nivel general las temperaturas medias anuales se encuentran entre la zona de confort, la zona oriental (Compartir) y norte (Flora) presentan las temperaturas medias más altas 2,7°C y 2,4°C, a diferencia de Siloé al piedemonte con las temperaturas más bajas, lo que puede ser el resultado de la influencia de mayores precipitaciones, tal y como se indicó en la Figura 4-16 el régimen de vientos en las laderas y las cuencas de los ríos Meléndez, Lili y Pance.

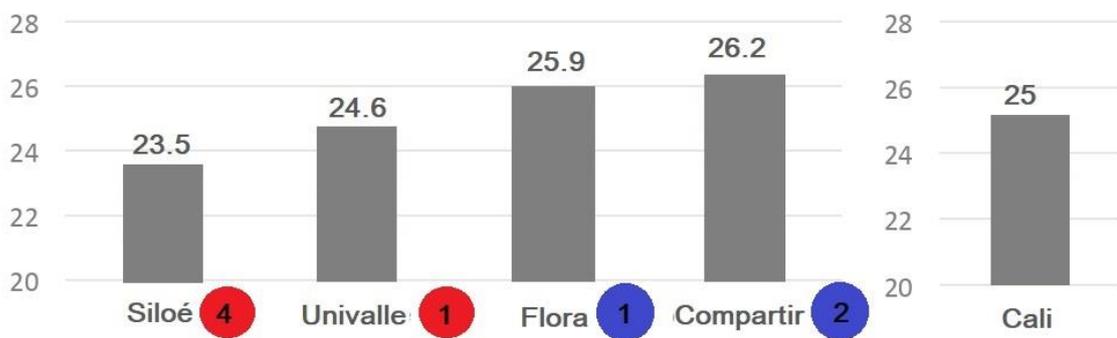


Figura 4-16: Temperatura media (°C) en las diferentes estaciones y Promedio anual 2014

Fuente: Elaboración propia

Por el contrario, para el caso de la humedad relativa, en general se conserva por debajo del rango de humedad del clima árido definido por el IDEAM para Cali. Los valores más altos se presentan el piedemonte en Siloé 72,2% de HR y los más bajos hacia la zona norte y oriente hasta 62,5% HR, lo cual guarda correspondencia con las altas temperaturas (Figura 4-17).

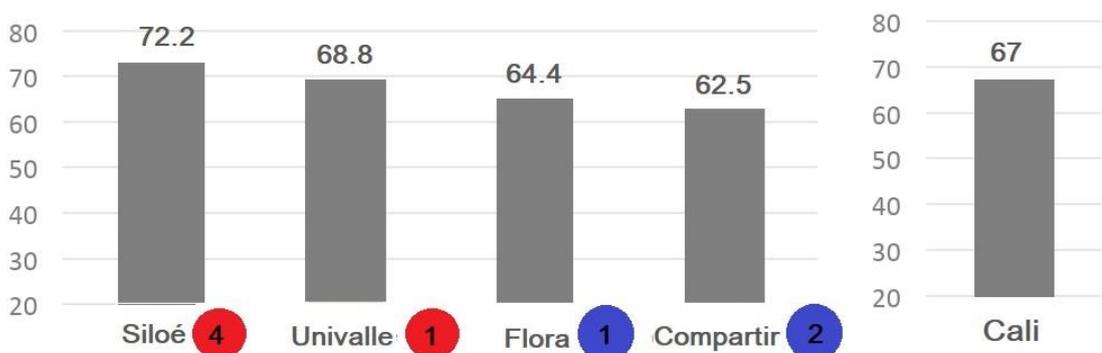


Figura 4-17: Humedad Relativa (%HR) en las diferentes estaciones y Promedio anual 2014

PARTE 3:

DESARROLLO OPERATIVO

De cómo se abordó el problema

CAPITULO 5

5. METODOLOGIA PARA ABORDAR EL PROBLEMA

5.1. Introducción

Para dar respuesta al objetivo del presente trabajo, se propone una investigación de tipo analítica-empírica. Esto supone, el abordaje de la situación a través de las variables intervinientes (estructurales y críticas).

El objeto de estudio, el confort integral en colegios del trópico, se analiza de forma exhaustiva a partir de diversas técnicas cualitativas (para dar cuenta de las características implícitas) y cuantitativas (los datos estadísticos relevantes).

La estrategia central de la investigación, se basa en el estudio de diferentes “casos” de aulas de colegios públicos localizados en la ciudad de Cali, Colombia, dado el papel prioritario que juega la educación pública en el país, no solo por tener la mayor cobertura, en comparación con la oferta privada (la educación pública duplica la cobertura frente a la privada, (ver Capítulo 2), sino, por el impacto social que representa al considerarse como motor de cambio y transformación de las personas en condiciones más desfavorecidas en el país. El estudio de caso, corresponde a una pregunta empírica que investiga *un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto de vida real, sobre todo cuando los límites entre fenómeno y contexto no son claramente evidentes* (Yin, 1994, p. 9).

Las aulas de los colegios escogidos, cumplen con las características fundamentales para constituirse en estudios de caso, como lo indican Groat & Wang (2103): son estudiadas en su contexto real, a partir de ellas es posible explicar vínculos causales; evidencia la importancia de la teoría en la fase de diseño de la investigación y la necesidad de recurrir a múltiples fuentes para recabar la evidencia, con la posibilidad de ir de lo particular del caso estudiado a la teoría. (Groat & Wang, 2013). Entre los aspectos que se destacan, es la necesidad de recurrir a la triangulación metodológica de los datos (teoría-medición-encuestas-simulación), para hacer el análisis y lectura final.

De esta manera se parte del análisis en profundidad de las condiciones ambientales de las aulas de los colegios públicos de la ciudad de Cali, construidos después de la reglamentación de la Norma Técnica Colombiana-NTC4595: Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares. Norma que determina en Colombia las condiciones de diseño para lograr ambientes de aprendizaje cómodos (o en confort). Por consiguiente, el recorte del universo de análisis es temporal, a partir del año 2000. El objeto de análisis permite, además, verificar las condiciones de confort derivadas de la implementación de la Norma, condición que no podría ser resuelta si se tomaran como casos a estudiar las aulas de los colegios realizados antes de su implementación. Así, las aulas de estudio, se constituyen en modelos de implementación de la Norma que admiten su análisis y verificación.

El aula se convierte en el estudio de caso por las siguientes razones: por ser el espacio por excelencia para la actividad de enseñanza y aprendizaje, por representar la mayor área en los colegios, lo que implica un mayor impacto en las condiciones de confort y eficiencia en general de los edificios, por ser el espacio de mayor permanencia de los estudiantes y por ser el espacio escolar que más demanda de calidad ambiental para el desarrollo de la actividad. (San Juan, 2011)

Las aulas se analizan desde aspectos cualitativos, para la valoración formal y espacial para dar paso a la principal técnica para el abordaje del estudio de caso: la **Auditoría Ambiental de Percepción del Usuario (AAPU)**, diseñada y utilizada en el análisis de la auditoría energética y de condiciones de confort en establecimientos educativos. Esta técnica diseñada por el equipo

del Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) de la Universidad Nacional de La Plata, es una metodología que permite evaluar las condiciones de las aulas a partir de la incorporación de parámetros ambientales (objetivos) y sondeo de los factores de confort del usuario (subjetivos), (San Juan, Hoses, y Martini, 2014).

La aplicación de criterios de confort y eficiencia energética en las aulas, contribuye a mejorar las condiciones de confort en los espacios de mayor permanencia de los niños, después del hogar, y finalmente, redundan en elevar la calidad de la educación, disminuir el consumo energético, los costos de operación del edificio y las emisiones de efecto invernadero a la atmósfera. Los resultados de la AAPU permiten analizar el confort percibido por los ocupantes de las aulas, como también comparar los resultados con la normativa local e internacional, y revisar su aplicación en el contexto de estudio (Figura 5-1).

Los resultados de la AAPU se cargan en un **Sistema de Procesamiento de Auditoria, Objetiva + Subjetiva (SISPA O+S)** basado en planillas de cálculo de Excel para facilitar la sistematización y procesamiento numérico y gráfico, en un entorno abierto, aplicado de manera previa en la auditoria energética y de confort en establecimientos educacionales (para ver el procesamiento de esta investigación, ver Anexo 7 y 8). El SISPA O+S, permite establecer una correlación entre los registros objetivos y subjetivos, e integrar en un solo ambiente de procesamiento los diferentes procedimientos y equipos llevados a cabo (San Juan y Hoses, 2014).

Para el diagnóstico y análisis posteriores, se realizan procedimientos cualitativos de análisis gráficos y planimétricos y cuantitativos, basados en el programa estadístico SPSS (del inglés *Statistical Analysis Software*), a través de regresiones, correlaciones, clúster y análisis de varianza, en ANOVAS (del inglés *ANalysis Of VAriance*), para poder integrar la variedad de componentes y técnicas que intervienen. Del mismo modo, se realizan entrevistas semi-estructuradas a algunos estudios de arquitectura encargados del diseño de colegios, rectores y grupo focal con los profesionales responsables de la gestión, mantenimiento y construcción de colegios, para indagar sobre la aplicabilidad de las recomendaciones de diseño enfocadas al confort y de la norma.

A continuación en la Figura 5-1, se expone el esquema metodológico, operativo.

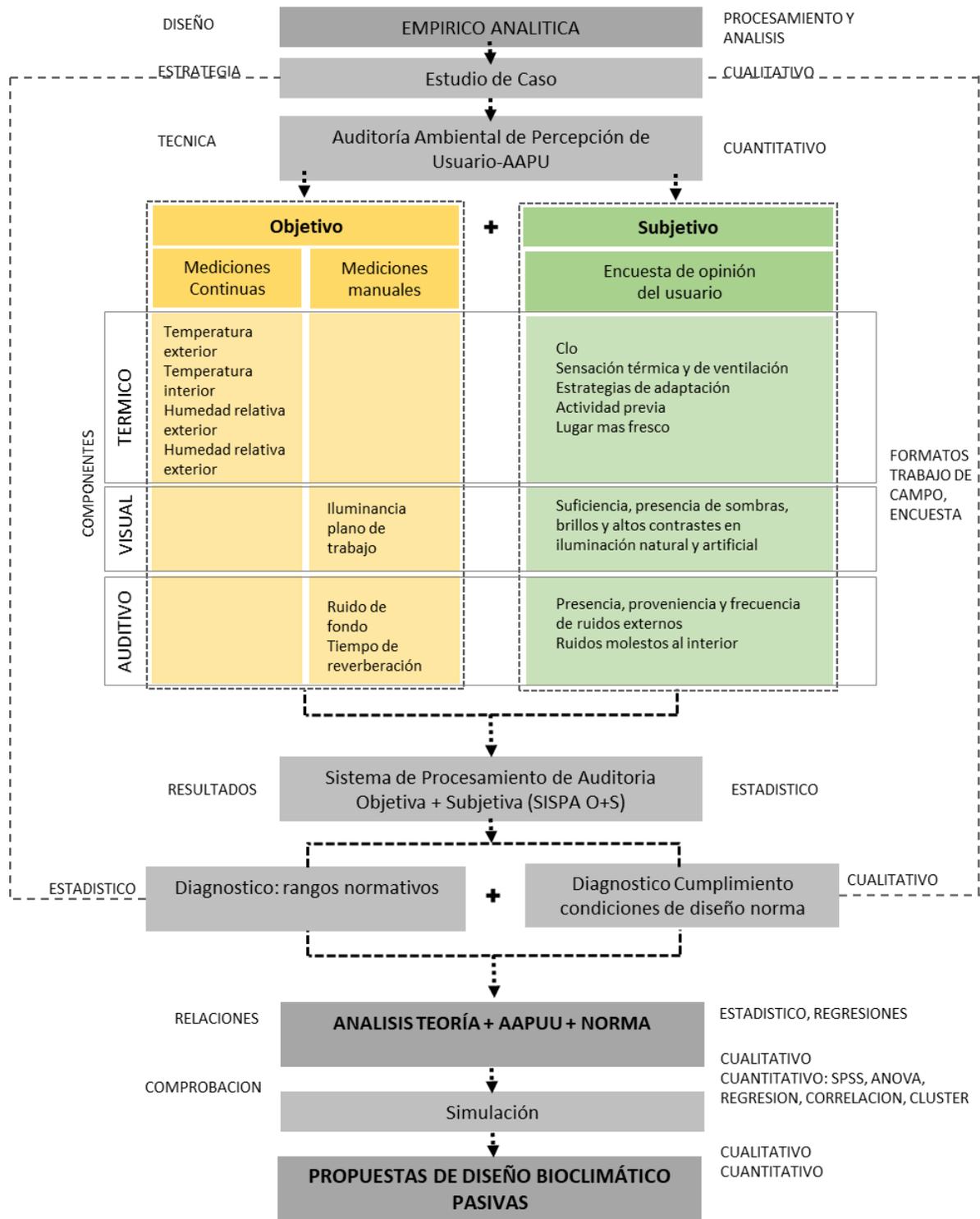


Figura 5-1: Esquema Metodológico. Fuente elaboración propia

En la etapa final de la investigación, se analizan las estrategias de diseño propuestas por la norma y se proponen otras, basadas en la simulación de los comportamientos anuales de un aula en condiciones arquitectónicas típicas. Los resultados de las simulaciones se comparan

mediante gráficas en ambiente Excel y también se les realizan correlaciones para identificar las mejores estrategias al momento de diseñar aulas confortables.

La aplicación de criterios de confort en las aulas, pone en escenario la necesidad de contar con información de base de su estado, para abordar situaciones de mejora en cuanto a: condiciones adecuadas de confort, promoción de la educación en el marco del desarrollo sustentable, y efectos derivados de lo anterior, como una mayor eficiencia energética y reducción de los gases efecto invernadero.

La metodología hace uso de las siguientes fuentes de información:

- **Archivo:** Construcción del estado del arte y marco teórico sobre los principales modelos de confort térmico, visual y auditivo, así como también, sobre el proceso de diseño bioclimático.
- **Trabajo de campo:** Planos, fotos, levantamiento de información complementaria y realización de la AAPU.
- **Entrevistas y grupos focales:** con los arquitectos encargados del diseño, gestión, mantenimiento y construcción de los colegios, como también entrevistas realizadas a los rectores de las instituciones estudiadas.
- **Simulación:** Construcción de un modelo experimental de un aula típica, con el fin de validar los comportamientos anuales a nivel térmico y visual, a partir de software de simulación especializados para cada uno de los componentes: (i) Térmico con EnergyPlus (Oficina de Tecnologías de Construcción (BTO) del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) (del inglés *United States Department of the Energy*). Junto con OpenStudio; (ii) Visual, con software Rhino con el plugin de DIVA (Graduate School of Design de la Universidad de Harvard, Solemma LLC); y (ii) Acústico, el software EASE (del inglés *Enhanced Acoustic Simulator Engineers*).

Para el procesamiento, análisis y diagnóstico se recurre principalmente a:

- **Análisis formales y espaciales:** en las aulas y colegios seleccionados para el estudio, a través de plantas, cortes y alzados realizados en AutoCAD (software de diseño asistido por computadora) y volumetrías en ScketUp (software de diseño para modelado 3D).

- **Análisis estadístico**
 - **SPSS:** para el análisis estadístico de la información, permite decantar en un primer nivel los datos descriptivos que apoyan el análisis, también posibilita las correlaciones, ANOVA y conformación de Clúster (a través del software Matlab); para identificar finalmente las relaciones más significativas entre el confort, los resultados de la auditoria y la Norma.

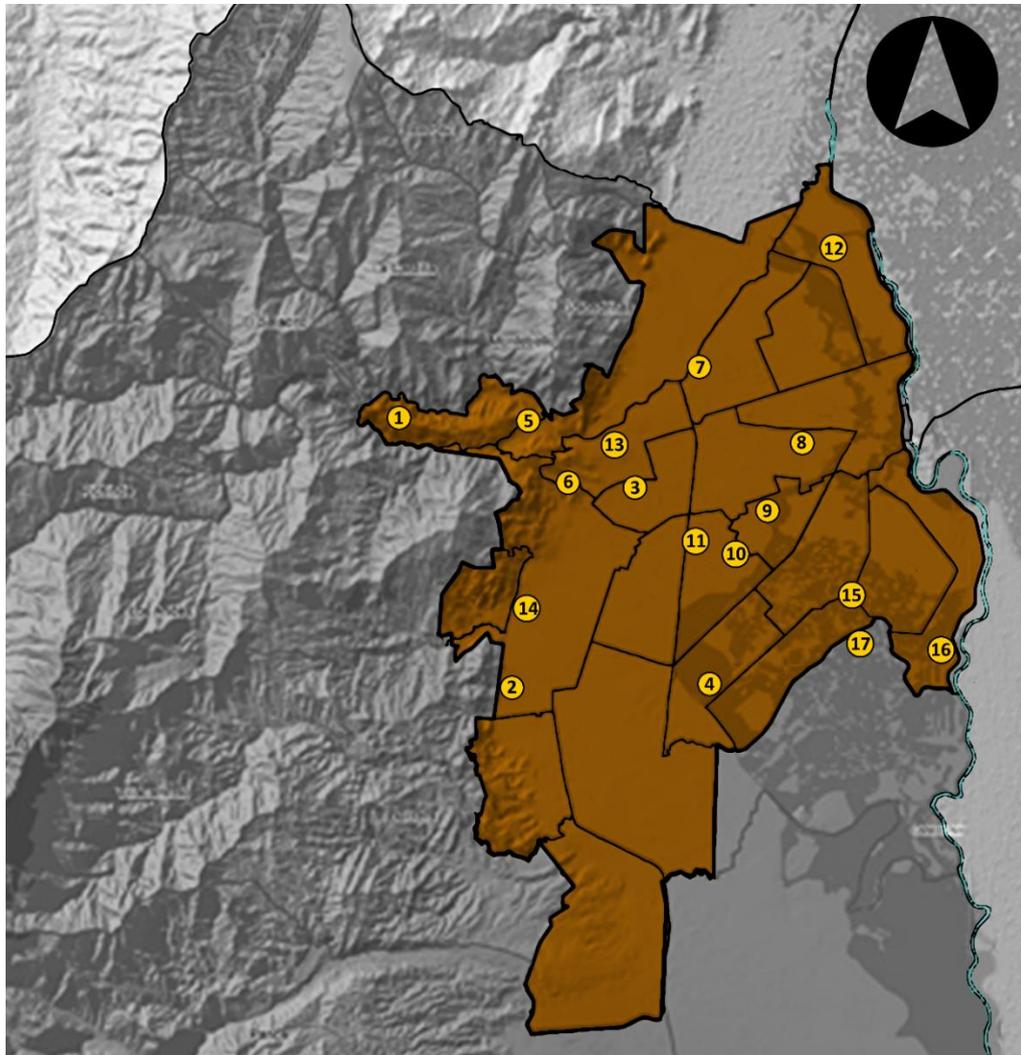
 - **Excel:** para la realización de gráficas descriptivas de comparación de las condiciones de confort, cumplimiento de la Norma en cada una de las aulas y el procesamiento de las encuestas como también, las correlaciones para identificar el mejor comportamiento de las estrategias.

5.2. Universo de análisis y casos de estudio

El universo de análisis está constituido por los colegios públicos que cuentan con el ciclo educativo completo, conocidos también en Colombia como instituciones educativas (IE), las cuales ofrecen los servicios educativos para todos los niveles, desde la primera infancia (un año), nueve grados de educación básica y la media. El resto de los colegios en Cali, son Centros Educativos que no ofrecen el total de los niveles y que se deben asociar con otros centros para ofrecer el ciclo completo a los estudiantes.

Como se observa en la Figura 5-2, la mayoría de las instituciones educativas en Santiago de Cali se encuentran en la zona plana del valle, en la parte central de la ciudad. En menor cantidad hay instituciones educativas en la zona de ladera, en el costado occidental y hacia la

zona oriental, con la influencia del río Cauca. En ambas zonas se localizan las personas más pobres en la ciudad. Son 17 las instituciones educativas, presentados a continuación en la Figura 5-2.



*Figura 5-2: Instituciones educativas en Cali con el ciclo educativo completo.
Fuente: elaboración propia a partir de información recopilada del IDESC.*

1. Colegio Luis Fernando Caicedo, 2. Colegios, Comunitario Industrial y de Comercio, 3. Colegio Alianza Cristiana Cali, 4. Colegio Bienestar Social, 5. I.E. Isaías Gamboa, 6. I.E. Escuela Normal Superior, 7. I.E. Santo Tomás, 8. I.E. Juan de Ampudia, 9. I.E. Industrial Marice Sinisterra, 10. I.E. León XIII, 11. I.E. Técnico Industrial 10 de mayo, 12. I.E. Fundación Educativa Santa Isabel de Hungría, 13. Centro Educativo Camilo Torres, 14. I.E. Juana de Caicedo y Cuero, 15. I.E. Nuevo Latir, 16. I.E. Nelson Garcés Vernaza, 17. I.E. Isaías Duarte Cancino

A partir de las instituciones educativas, se realiza un recorte temporal del que resultan sólo cinco colegios realizados después del año 2000, año de implementación de la norma NTC 4595 y en funcionamiento solo cuatro al momento de iniciar la investigación (Figura 5-3). El estudio

de estos colegios es un aporte a la calidad de la educación pública en Cali y en Colombia, por el impacto no solo de la educación pública en la población con escasos recursos económicos, sino por la alta cobertura de estas instituciones.

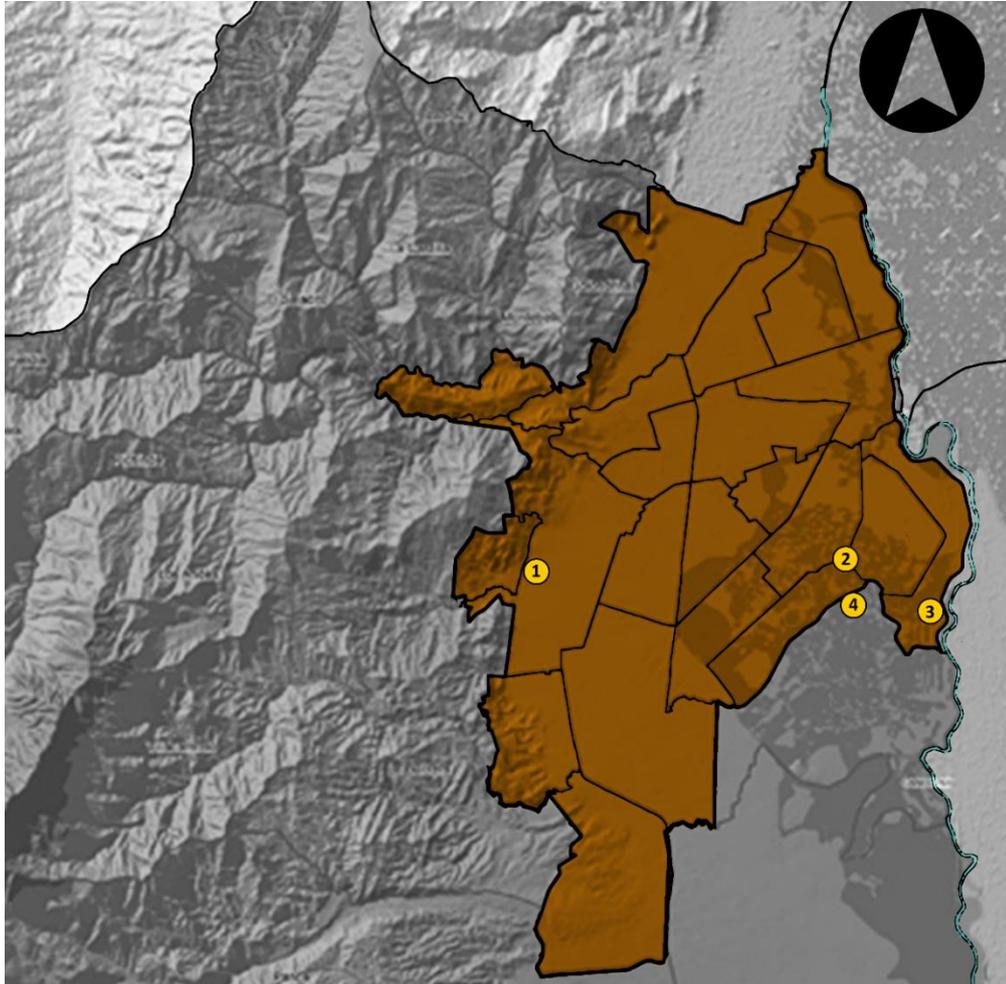


Figura 5-3: I.E. construidas bajo la norma NTC 4595. Fuente: elaboración propia

1. I.E. Juana de Caicedo y Cuero, 2. I.E. Nuevo Latir, 3. I.E. Nelson Garcés Vernaza, 4. I.E. Isaías Duarte Cancino

Para la selección de las aulas en cada uno de los colegios, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- Localización del aula dentro del edificio: aula en condición típica, las que constituyen la mayoría del área educativa.
- Condiciones diferentes en cuanto a orientación con respecto al sol y vientos y exposición a la radiación solar (planta baja y alta con cubierta expuesta).
- Nivel escolar: Entre 5 y 7, buscando niveles similares y final de la primaria e inicio de secundaria, similar entre los salones de los diferentes colegios.

A continuación, se presentan las aulas analizadas en cada colegio

5.2.1. Aulas 1 y 2, del Colegio Isaías Duarte Cancino

El colegio **Isaías Duarte Cancino**, se encuentra en la zona oriental de Cali, con influencia del río Cauca (Figura 5-3, plano de localización). La mayoría de los bloques del colegio se encuentran al interior del lote conformando patios (Figura 5-4), excepto el edificio con el área administrativa y el comedor, (Figura 5-5). Para ver información más detallada del colegio Isaías Duarte y las aulas 1 y 2, (ver Anexo 1).



Figura 5-4: Plano general Colegio, Isaías Duarte Cancino.
Fuente: Elaboración propia a partir del plano de la SEM

La materialidad de la envolvente edilicia del Colegio **Isaías Duarte Cancino**, está conformada por ladrillo cerámico. Las aulas presentan en sus fachadas expuestas a la radiación solar, ventanas con persianas, las cuales protegen del ingreso solar directo.

El colegio se localiza alrededor de patios (Figura 5-6), con los bloques de aulas orientados en sus fachadas principales con predominancia al norte y sur, protegiendo los espacios de la incidencia solar directa, y con relación directa hacia el exterior (Figura 5-7).



Figura 5-5: Bloque de acceso

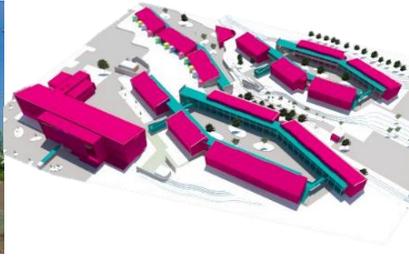


Figura 5-6: Volumetría general



Figura 5-7: Patios

Fuente: Archivo de la investigación

En el colegio **Isaías Duarte Cancino**, se seleccionaron dos aulas, localizadas en primer y último piso de dos bloques de aulas diferentes como se presenta en la Figura 5-8. El aula del grado 6 se localiza hacia el norte (Figura 5-9) y el aula del grado 5, hacia el sur (Figura 5-10).

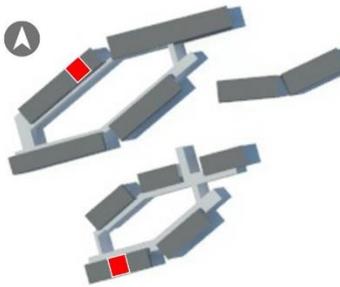


Figura 5-8: Aulas estudiadas



Figura 5-9: Aula 1 piso 1



Figura 5-10: Aula 2 piso 2

Fuente: Archivo de la investigación

Las aulas presentan materialidad en ladrillo cerámico en la fachada expuesta, con muros en concreto a la vista en las paredes del tablero o pizarrón y su enfrentada y en concreto pintado hacia los corredores relacionados con los patios. El aula del piso 1 presenta en el cielorraso, losa de concreto a la vista (Figura 5-11 y Figura 5-12), mientras la del piso superior presenta cubierta metálica tipo “sándwich”, con cielorraso suspendido o falso en panel de roca de yeso de color blanco (Figura 5-13 y Figura 5-14).

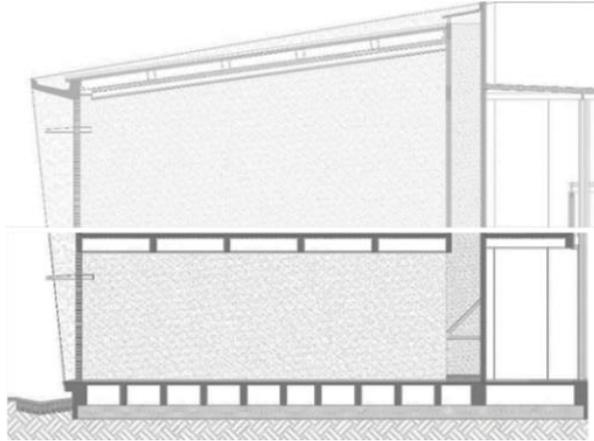


Figura 5-11: Corte aula 1 piso 1. Fuente SEM



Figura 5-12: Aula 1 piso 1. Fuente: Archivo de la investigación

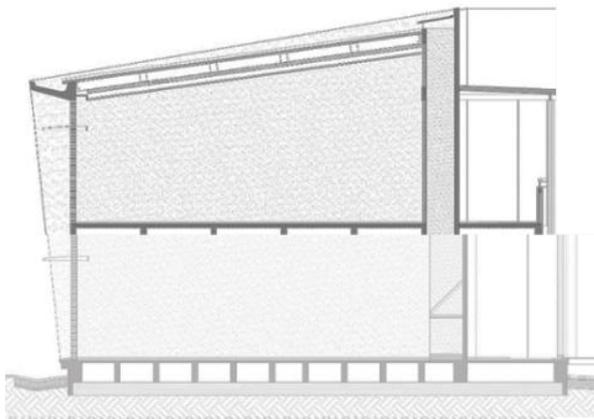


Figura 5-13: Corte aula 2, piso 2. Fuente: SEM



Figura 5-14: Aula 2 piso 2. Fuente: Archivo de la investigación

5.2.2. Aulas 3 y 4, del Colegio Nelson Garcés Vernaza

El Colegio **Nelson Garcés Vernaza**, se encuentra en la zona oriental de Cali, con influencia del río Cauca (Figura 5-3, plano de localización). La mayoría de los bloques del colegio se encuentran al interior del lote (Figura 5-15), excepto el edificio administrativo con fachada al exterior, el cual contiene: oficinas en el piso 1, aulas en el piso 2, comedor y espacio múltiple. (Figura 5-16). Para ver información más detallada del colegio Nelson Garcés y las aulas 3 y 4, (ver Anexo 2).



Figura 5-15: Plano general colegio Nelson Garcés Vernaza.
Fuente: elaboración propia a partir del plano de la SEM

La materialidad de la envolvente del **Nelson Garcés Vernaza**, está conformada por bloque de cemento hueco. Las aulas presentan en sus fachadas expuestas a la radiación solar, un doble muro, protege a las aulas de la acción de la radiación solar incidente. El colegio se localiza alrededor de patios (Figura 5-17). Los bloques que contienen las aulas se organizan con su eje longitudinal norte sur, protegiendo las fachadas principales de la incidencia solar directa y con una relación directa de los espacios habitables (aulas) hacia el exterior (Figura 5-18).



Figura 5-16: Exterior del colegio

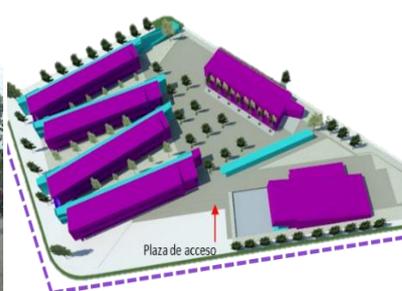


Figura 5-17: Volumetría general



Figura 5-18: Patios

Fuente: Archivo de la investigación

En el colegio Nelson Garcés Vernaza se seleccionaron dos aulas como se presenta en la (Figura 5-19). El aula del grado 6° en el primer piso, hacia el sur (Figura 5-20) y el aula del último piso del grado 5, localizada hacia el norte (Figura 5-21).

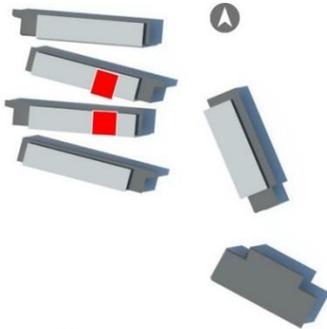


Figura 5-19: aulas estudiadas



Figura 5-20: Aula 3, piso 1



Figura 5-21: aula 4, piso 2

Fuente: Archivo de la investigación

Las aulas presentan su materialidad en bloque de cemento hueco en la fachada expuesta, con doble muro que protege de la incidencia solar y paredes pintadas en color claro al interior. El aula del piso 1 presenta el cielorraso de color claro (Figura 5-22 y Figura 5-23), mientras la del piso superior cubierta inclinada y metálica tipo “sándwich” a la vista, con acabado de color blanco (Figura 5-24 y Figura 5-25).

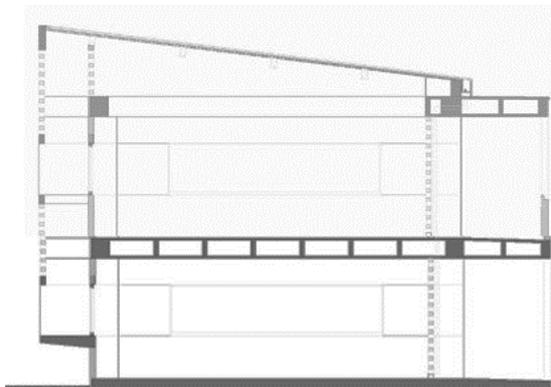


Figura 5-22: Corte aula 3, piso 1 Fuente: SEM



Figura 5-23: Aula 3, piso 1. Fuente: Archivo de la investigación

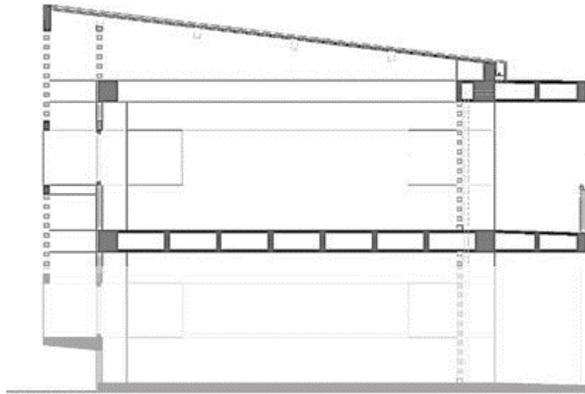


Figura 5-24: Corte aula 4, piso 2. Fuente: SEM



Figura 5-25: Aula 4, piso 2

5.2.3. Aulas 5 y 6 del colegio Nuevo Latir

El colegio **Nuevo Latir**, se encuentra en la zona oriental de Cali, con influencia del río Cauca (Figura 5-3, plano de localización), en el cruce de dos vías importantes. Los bloques de aulas se organizan en pares alrededor de patios, organizados linealmente (Figura 5-26). En el cruce de las dos vías, el volumen en forma cilíndrica de la biblioteca, es protagonista como se presenta en la Figura 5-28. Para ver información más detallada del colegio Nuevo Latir y las aulas 5 y 6, (ver Anexo 3).



Figura 5-26: plano general colegio Nelson Garcés Vernaza.

Fuente: elaboración propia a partir del plano de la SEM

La materialidad de la envolvente del colegio **Nuevo Latir**, está conformada por bloque de cemento hueco con enchape en piedra (Figura 5-27). El colegio se localiza alrededor de patios. Los bloques que contienen las aulas orientan sus fachadas principales hacia el norte y sur, protegiendo las fachadas principales de la incidencia solar directa (Figura 5-28) y con una relación visual hacia los patios (Figura 5-29).



Figura 5-27: Bloque exterior



Figura 5-28: Volumetría general



Figura 5-29: Patios

Fuente: Archivo de la investigación

En el colegio **Nuevo Latir** se seleccionaron dos aulas con orientación diferente como se presenta en la Figura 5-30, una localizada más hacia el sur en el piso 2 (Figura 5-31) y otra hacia el norte en el piso 3 (Figura 5-32).



Figura 5-30: aulas estudiadas



Figura 5-31: Aula 5, piso 2



Figura 5-32: Aula 6, piso 3

Fuente: Archivo de la investigación

Las aulas presentan materialidad en bloque de concreto con enchape en piedra en la fachada expuesta, con muros en bloque de concreto liso y repellados en las paredes al interior de las aulas. El aula 5 del piso 2 presenta en el cielorraso losa de concreto a la vista (Figura 5-33 y Figura 5-34), mientras la del piso superior presenta cubierta metálica tipo sándwich con acabado blanco a la vista (Figura 5-35 y Figura 5-36).

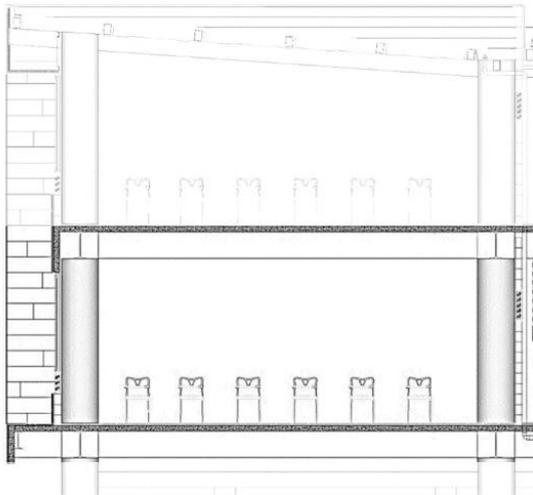


Figura 5-33: Corte aula 5, piso 2. SEM



Figura 5-34: Aula 5, piso 2. Fuente archivo investigación

Fuente: Archivo de la investigación

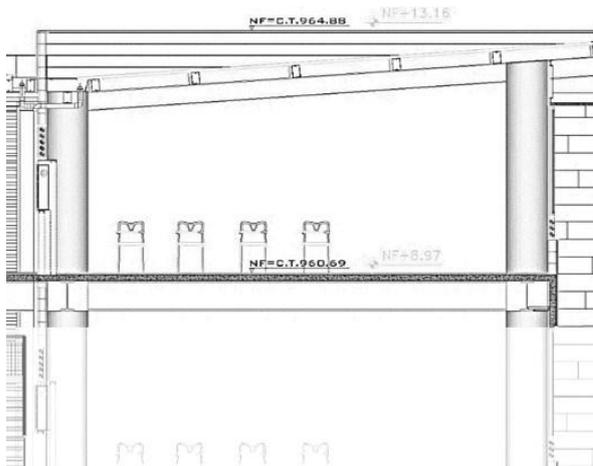


Figura 5-35: Corte aula 6, piso 3. Fuente SEM



Figura 5-36: Aula 6, piso 3. Fuente archivo investigación

Fuente: Archivo de la investigación

5.2.4. Aulas 7, 8 Y 9, del Colegio Juana de Caicedo y Cuero

El colegio Juana de Caicedo, se encuentra hacia el occidente en el piedemonte (Figura 5-3, plano de localización). La mayoría de los bloques del colegio se encuentran al interior del lote conformando patios (Figura 5-37), excepto el edificio con el área administrativa (Figura 5-38). Para ver información más detallada del colegio Isaías Duarte y las aulas 7, 8 y 9, (ver Anexo 4).



Figura 5-37: plano general colegio Nelson Garcés Vernaza.
Fuente: elaboración propia a partir del plano de la SEM

La materialidad de la envolvente del colegio **Juana de Caicedo**, es en bloque de cemento hueco (Figura 5-38). Las aulas presentan en sus fachadas expuestas a la radiación solar, muros con repello y pintura blanca, con vanos que sobresalen del muro, protegiendo a las aulas del ingreso solar directo. Los bloques de aulas se disponen linealmente entre patios con sus fachadas principales, con una orientación predominante hacia el norte y sur (Figura 5-39). El último bloque dispone su corredor hacia el patio posterior (Figura 5-40).



Figura 5-38: Bloque exterior

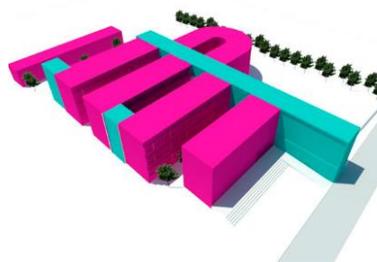


Figura 5-39: Volumetría general
Fuente: Archivo de la investigación



Figura 5-40: Patios

En el colegio **Juana de Caicedo** fue el único colegio en donde se cambió una de las aulas en la segunda medición en agosto debido a cambios en la distribución del colegio, lo que hizo que en el salón evaluado, ubicaran a niños de primera infancia, menores de cinco años. Por esta

razón se cambia el salón identificado como No. 8 para la segunda medición y aparece el aula No. 9 como se presenta en la Figura 5-41, con el fin de comparar las diferencias que se pudieran presentar en aulas del piso bajo (Figura 5-42), frente a las localizadas en pisos altos, con fachada hacia el norte (Figura 5-43).



Figura 5-41: Aulas estudiadas



Figura 5-42: Fachada corredor



Figura 5-43: Fachada principal

Fuente: Archivo de la investigación

Las aulas presentan materialidad en bloque de concreto, con muros a la vista hacia el interior en la pared del tablero y su opuesta. Los muros hacia el exterior presentan repello y pintura. El aula del piso 1 presenta en el cielorraso, losa de concreto a la vista (Figura 5-44 y Figura 5-45), mientras la del piso superior presenta cubierta metálica tipo sándwich, con acabado en color blanco al interior (Figura 5-46 y Figura 5-47).

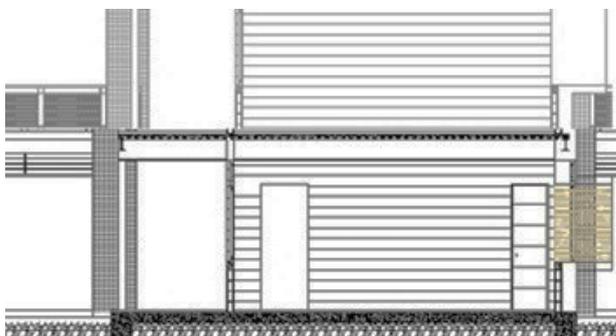


Figura 5-44: Corte aula 7, piso 1. Fuente: SEM



Figura 5-45: Aula 7, piso 1. Fuente: Archivo de la investigación

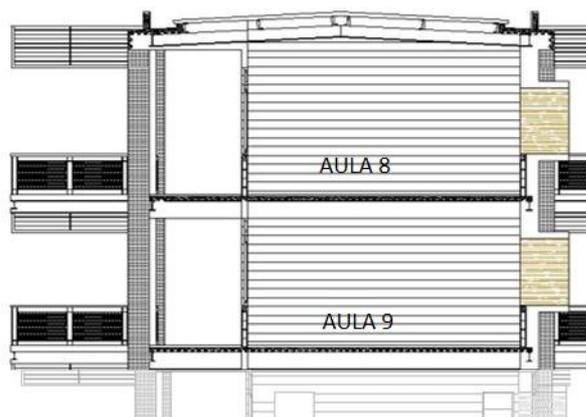


Figura 5-46: Corte aula 8, piso 2. Fuente: SEM

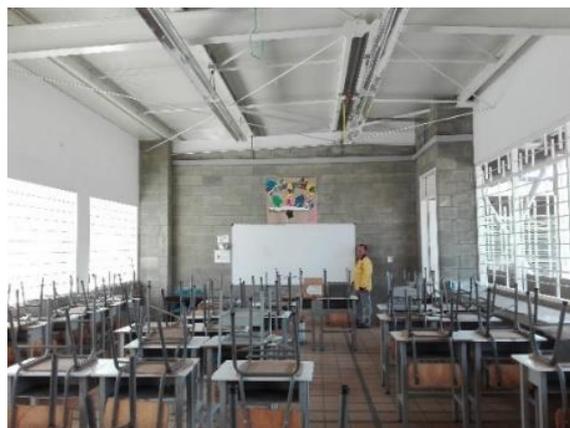


Figura 5-47: Aula 8, piso 2. Fuente: Archivo de la investigación

Fuente: Archivo de la investigación

5.3. Auditoría Ambiental de Percepción del Usuario (AAPU)

La AAPU es una metodología que integra procedimientos y herramientas objetivas (medición de parámetros ambientales) y subjetivas (percepción del estudiante), para identificar las variables ambientales más relevantes y las condiciones reales que intervienen en el confort, y por ende, en la actividad de enseñanza y aprendizaje en las aulas (San Juan et al., 2014).

Con el fin de determinar los momentos más adecuados para realizar la AAPU, se identificaron los periodos del año en condiciones climáticas diferentes: La lluvia ocurre de marzo a mayo y de octubre a diciembre; mientras los meses secos son entre enero y febrero y, junio y septiembre (Figura 5-48).

La auditoría se realizó entre el 3 y el 22 de marzo (momento lluvioso) y entre el 4 de agosto y el 6 de septiembre (momento seco) del año 2017. Lo anterior se contrasta con los tiempos de funcionamiento de los colegios, el periodo de vacaciones y actividades especiales, para seleccionar los meses de marzo y agosto, como los adecuados para realizar las mediciones, situación semejante a otros estudios realizados en clima tropical y subtropical (Nematchoua, Tchinda, & Orosa, 2014) (Figura 5-48).

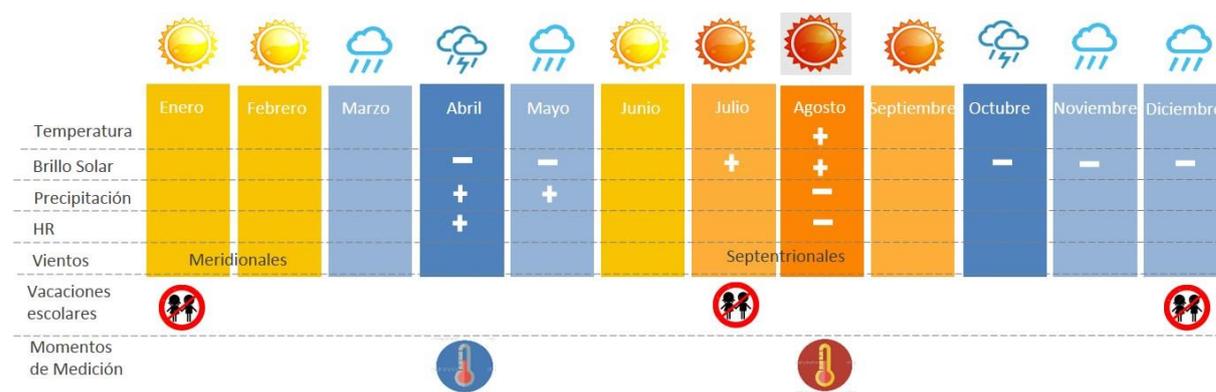


Figura 5-48: Condiciones climáticas en Cali para las mediciones.
 Fuente: adaptación y complemento a partir de gráfico del IDEAM

La Auditoría Ambiental de Percepción del Usuario (AAPU ¹), como se explicó anteriormente, es una metodología desarrollada por el Dr. Gustavo San Juan y su equipo y aplicada en evaluación de aulas (San Juan y Hoses, 2014), para sistematizar y estandarizar los procedimientos para el levantamiento y procesamiento de la información. Lo anterior facilita la comparación de los resultados del diagnóstico, entendiendo las diferencias entre cada uno de los casos. Cada uno de los campos (objetivo y subjetivo), se estructuraron de la siguiente manera.

5.3.1. Auditoria Objetiva

La teoría desarrollada en la primera parte de la investigación, se concreta a través de variables que permiten su contrastación empírica (Inche et al., 2003) y que constituyen la base de la AAPU.

¹ **AAPU:** Tiene por objeto garantizar una adecuada aplicación, en cuanto a la realización de auditorías ambientales a partir de la percepción del usuario, aplicada a establecimientos escolares. Así mismo, garantizar una correcta aplicación de las técnicas involucradas y producir la estandarización de los procedimientos. Fue aplicada en los siguientes países: Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, México y Rep. Dominicana. La riqueza de contar con un protocolo y herramienta comunes, resulta beneficioso en la comparación de resultados del diagnóstico, entendiendo las diferentes condiciones físicas, culturales y climáticas. Se trata de establecer claramente, un PROTOCOLO que incluya la metodología elaborada a partir de experiencias previas; los equipos e instrumentos de adquisición de datos a utilizar; los procedimientos de procesamiento, con los cuales disminuir el error sistemático; y establecer criterios operativos comunes, integrando múltiples variables y dimensiones. (San Juan G., Hoses S. Proyecto: “Aprendizaje en las Escuelas del siglo XXI” - BID RG-T2011, 2014).

Las variables registradas a través de los equipos de medición para el componente térmico son: (i) temperatura ambiente interior y exterior (T_a , T_{ext}), (ii) Humedad relativa (HR , HR_{ext}), (iii) Velocidad del aire (V_a) y (iv) Temperatura superficial (T_{sup}). Para el componente visual: (v) Iluminancia exterior y (vi) sobre puesto de trabajo (lux); y para el componente auditivo son: (vii) Ruido de fondo y (viii) Tiempo de reverberación.

Para relevar estos datos, se realizaron dos procedimientos (a) Mediciones continuas y (b) Mediciones puntuales o instantáneas, en simultáneo con la aplicación de la (c) Encuesta de opinión. Para las mediciones continuas se tomaron registros cada 10 minutos con equipos adquirentes de datos especializados, durante 25 días en el periodo de lluvias y 30 días en el seco. Para ver en detalle los registros continuos, ver Anexo 5. Los equipos técnicos usados se presentan a continuación en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Descripción de las mediciones continuas durante dos meses

	Parámetros ambientales	Tipo de medición	Intervalo	Equipo	Especificaciones Técnicas
TERMICO	Temperatura (°C) y Humedad relativa (%) exterior	Continua	Cada 10 minutos	HOBO U23 Pro V2	Precisión $\pm 0.21^\circ\text{C}$ entre 0° to 50°C , $\pm 2.5\%$ entre 10% a 90% RH (típico).
	Temperatura (°C) y Humedad relativa (%) interior	Continua	Cada 10 minutos	HOBO U12-012	Precisión $\pm 0.35^\circ\text{C}$ entre 0° to 50°C , $\pm 2.5\%$ entre 10% a 90% RH (típico).

Fuente: elaboración propia

Los adquirentes de datos instalados en el exterior, se dispusieron en las galerías de los colegios protegidos de la radiación solar directa como se muestra en la Figura 5-49 y Figura 5-50. Mientras los que se ubicaron al interior de las aulas se dispusieron en la pared del tablero o pizarra, a una altura de 1.20 en la zona de control por parte del docente, por seguridad del equipo durante el tiempo de medición como se presenta en las Figura 5-51 y Figura 5-52 .



Figura 5-49: Adquisidor de datos en galería del colegio Nelson Garcés



Figura 5-50: Adquisidor de datos en galería del colegio Juana



Figura 5-51: Adquisidor de datos al interior colegio Isaías Duarte



Figura 5-52: Adquisidor de datos colegio Juana de Caicedo

Fuente: archivo de la investigación

Otras variables se registraron al interior del aula, en simultáneo con la encuesta aplicada durante una clase típica, para cada uno de los componentes así:

- Para el térmico, (i) la velocidad del aire, (ii) la temperatura superficial de todas las superficies del aula, (iii) temperatura exterior e interior, (iv) humedad relativa exterior e interior y (v) temperatura superficial.
- Para el visual, (i) la iluminancia exterior e interior sobre las superficies de trabajo.
- Para el auditivo, se midió el (i) ruido de fondo. Las especificaciones de las mediciones y los equipos se detallan en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Descripción de las mediciones manuales en simultáneo con la encuesta

	Parámetros ambientales	Tipo de medición	Intervalo	Equipo	Especificaciones Técnicas
TÉRMICO	Velocidad del viento	Manual	Cada 30 minutos	LM-8000 Lutron	Rango de 0.4 a 30.0 m/s con resolución 0.1 m/s.
	Temperatura Superficial	Manual	Cada 30 minutos	NUBBE	Rango entre -50 a 380 °C, y exactitud de $\pm 2\%$
VISUAL	Iluminancia (lux) exterior	Manual	Puntual	Luxómetro Lutron LX-1102	Rango: 40.00/400.0/4,000/40,000 /400,000 Lux. Resolución: 0.01 Lux a 100 Lux
	Iluminancia (lux) sobre superficie de trabajo	Manual	Cada 30 minutos		
AUDITIVO	Ruido de Fondo	Manual	Cada 15 minutos	Sonómetro CESVA	Sonómetro clase 1 y analizador de espectro por bandas de tercio de octava y octava

Fuente: elaboración propia

Las mediciones puntuales se realizaron de dos maneras: (i) en simultáneo con la encuesta en el desarrollo de una clase típica de aula y, (ii) con el salón vacío para hacer la segunda medición de ruido de fondo y el tiempo de reverberación, mientras los estudiantes estaban en actividades al aire libre.

A continuación se presentan algunas imágenes de las mediciones en simultáneo con la encuesta, como el ruido de fondo (Figura 5-53), iluminancia sobre el plano de trabajo en las distintas aulas (Figura 5-54, Figura 5-55 y Figura 5-56), temperatura superficial (Figura 5-57) y velocidad del viento (Figura 5-58).



Figura 5-53: Medición ruido de fondo aula colegio Isaías Duarte



Figura 5-54: Registro iluminancia sobre plano de trabajo aula colegio Juana de Caicedo



Figura 5-55: Registro iluminancia sobre plano de trabajo aula colegio Nuevo Latir



Figura 5-56: Registro de iluminancia sobre plano de trabajo aula colegio Nelson Garcés



Figura 5-57: Registro temperatura superficial aula colegio Nuevo Latir



Figura 5-58: Registro iluminancia y velocidad del viento

Fuente: archivo de la investigación

Para las mediciones del componente auditivo sin estudiantes, se realizaron registros adicionales del ruido de fondo y tiempo de reverberación, con las especificaciones indicadas en la Tabla 5-3: Descripción de las mediciones manuales independientes de la encuesta.

Tabla 5-3: Descripción de las mediciones manuales independientes de la encuesta

	Parámetros ambientales	Tipo de medición	Intervalo	Equipo	Especificaciones Técnicas
AUDITIVO	Ruido de Fondo	Manual	Cada 15 minutos	Sonómetro CESVA	Sonómetro clase 1 y analizador de espectro por bandas de tercio de octava y octava
	Tiempo de Reverberación	Manual	Puntual	Sonómetro + Dodecaedro CESVA	Sonómetro clase 1 y analizador de espectro por bandas de tercio de octava y octava

Fuente: elaboración propia

Para los registros tomados en el aula sin estudiantes como el ruido de fondo (Figura 5-59 y Figura 5-60), se emplea el sonómetro, mientras que para la medición del tiempo de reverberación se incorpora un altavoz (dodecaedro) como fuente sonora y amplificador omnidireccional, como se presenta en las Figura 5-61 y Figura 5-62.



Figura 5-59: medición ruido de fondo aula desocupada colegio Nuevo Latir



Figura 5-60: medición ruido de fondo aula desocupada colegio Nelson Garcés



Figura 5-61: medición tiempo de reverberación aula colegio Juana de Caicedo



Figura 5-62: equipo dodecaedro para medir el tiempo de reverberación en colegio

Fuente: archivo de la investigación

5.3.2. Auditoria Subjetiva

Un total de 535 estudiantes entre los 8 y 16 años de edad, participaron en el estudio. 277 durante el periodo lluvioso y 258 en el periodo seco, distribuidos de la siguiente manera como se muestra en la Tabla 5-4: *fechas y participantes de la encuesta de opinión*

Tabla 5-4: *fechas y participantes de la encuesta de opinión*

COLEGIO	AULA No.	PERIODO LLUVIOSO		PERIODO SECO	
		Fecha encuesta + medición manual (d/m/a)	Numero participantes	Fecha encuesta + medición manual (d/m/a)	Numero participantes
Isaías Duarte	1	22/03/2017	30	06/09/2017	24
	2		34		34
Nelson Garcés	3	17/03/2017	38	01/09/2017	30
	4		36		42
Nuevo Latir	5	06/04/2017	35	31/08/2017	29
	6		38		32
Juana de Caicedo	7	31/03/2017	30	30/08/2017	40
	8		36		
	9				27
Total			277		258

Fuente: elaboración propia

El abordaje del campo subjetivo de la auditoria se inscribió en el procedimiento definido por el Comité de Bioética de la Universidad de San Buenaventura de Cali, para lo cual se contó con la aprobación por parte de los padres o acudientes de los menores para la participación de los niños en el estudio.

Por otro lado, como se indicó anteriormente, la encuesta se realiza en una clase al interior del aula, a través de un taller participativo en el que se van explicando las preguntas de la encuesta, en simultáneo con las respuestas que van señalando los estudiantes. En medio de la actividad, los estudiantes preguntan y se les explica en general o individualmente, dependiendo de la duda expresada. En las imágenes siguientes (Figura 5-63 a Figura 5-66), se presentan algunos momentos de las encuestas por colegio.



Figura 5-63: encuesta en el aula 4 del colegio Nelson Garcés Vernaza



Figura 5-64: encuesta en un aula 5 del colegio Nuevo Latir



Figura 5-65: encuesta en el aula 1 del colegio Isaías Duarte



Figura 5-66: encuesta en aula 8 del colegio Juana de Caicedo

Fuente: Archivo de la investigación

El campo subjetivo de la auditoria está centrado en la *encuesta de opinión del usuario*, basada en la estrategia de *taller participativo* a partir de experiencias previas (San Juan, Hoses, Rojas, y Moreno, 1999), la cual se basa en un espacio didáctico en donde se explica de manera sencilla los conceptos y las preguntas que constituyen el instrumento. Lo anterior, apunta hacia los siguientes objetivos: integrar al grupo, acercar a estudiantes de colegio a nociones básicas de calidad y confort (como temperatura y humedad, iluminancia, sonido, etc.) y la importancia de su estudio en un formato amable y de fácil lectura para los niños (Ver encuesta completa en el Anexo 6).

En la primera parte de la encuesta, los estudiantes deben ingresar información de carácter personal como edad, género, ubicación en el aula, identificación de las prendas de vestir que tienen en ese momento puestas y el tipo de cielo (despejado, nublado o lluvioso) (Figura 5-67).

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA, CALI FACULTAD DE ARQUITECTURA, ARTE Y DISEÑO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: CONFORT EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE LA DIRECTORA DEL PROYECTO: ARQUITECTA OLGA LUCIA AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN: LUISA PEÑA PEREA - ANGIE PABÓN M.		 CÓDIGO ALUMNO <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">FS</div>
1. DATOS PERSONALES Fecha: <u>Marzo-22-2017</u> Institución Educativa <u>Isaías Duarte Cancino</u> Eres: Niño <input type="checkbox"/> Niña <input checked="" type="checkbox"/> Edad: <u>70</u> Hora: <u>7:05</u> Grado: <u>6-3</u>		2. COMO ESTA EL DIA <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Despejado </div> <div style="text-align: center;">  Nublado </div> <div style="text-align: center;">  Lluvioso </div> </div>
3. SEÑALA TU ROPA		

a.



Figura 5-67: Ejemplo diligenciamiento de la información personal de la encuesta. Fuente elaboración propia

En una segunda parte, se disponen las preguntas relacionadas con el **componente térmico**. La primera pregunta es sobre la sensación térmica basada en la escala de sensación térmica (ASRHA, 2005), y la UNE-EN ISO 7730 (UNE-EN ISO 7730, 2006), las cuales definen: muy caluroso (+3), caluroso (+2), ligeramente caluroso (+1), neutro (0), ligeramente fresco (-1), fresco (-2) y frío (-3). Esta pregunta es de tipo politómico, en donde se selecciona la opción más conveniente.

Son preguntas de selección múltiple (politómico) en el tema 4 las estrategias para adaptarse a los cambios climáticos frente al frío (c) y frente al calor (d), en el tema 5 las preguntas como ¿porqué del aire es pesado? (b), ¿por dónde ventila el salón? (c) y ¿cuál es el lugar más fresco del salón? Las demás son de tipo dicotómico (sí/no). (Figura 5-68).

4. TEMPERATURA Y HUMEDAD		
a. En este momento tienes.... ¿Tienes frío? NO ¿Estás fresco? SI ¿Estás un poco fresco? NO ¿Estás bien? SI ¿Tienes un poco de calor? NO ¿Tienes calor? NO ¿Tienes mucho calor? NO	b. ¿Es así todo el tiempo? Si NO	c. Si tienes frío en tu salón de clase ¿Qué haces? Cierro ventanas Me coloco el saco Nada
d. Si tienes calor en tu salón de clase ¿Qué haces? Abro ventanas Me quito el saco Tomo agua Nada	e. ¿Qué estabas haciendo 30 minutos antes de responder la encuesta? Estaba en clase Estaba en recreo Nada	
5. VENTILACION		
a. ¿El aire es pesado o sofocante? Si NO	b. ¿Por qué es pesado el aire? Por el calor Por la humedad Por el olor de personas Por olor de baños Otro	c. ¿Por dónde ventila el salón de clase? Por la ventana Por la Puerta
d. ¿La ventilación del salón de clase te genera molestias? SI No	e. ¿En tu puesto se siente el aire? SI No	f. ¿Cuál es el lugar más fresco en tu salón de clase? Cerca de la ventana Cerca de la puerta En el centro Atrás Hacia el tablero

Figura 5-68: Ejemplo diligenciamiento tema auditivo térmico. Fuente elaboración propia.

En el componente **sonido** hay dos rutas para las respuestas. Quienes identifican ruidos molestos en el salón, contestan todas las preguntas, las de tipo selección múltiple para identificar los tipos de ruido (b), la proveniencia (c) y de tipo nominal como la forma en que se escucha (d). Quienes no identifican ruidos molestos, pasan directo a contestar desde la pregunta e. de tipo nominal, la f. dicotómica y la pregunta g. de tipo politómico (Figura 5-69).

6. SONIDO		
a. ¿Hay ruidos molestos en tu salón de clase o cerca de él? No <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> Si contestas NO sigue con estas preguntas Si contestas SI, responde estas preguntas	b. ¿Qué tipo de ruidos? (Marque varias opciones) Autos Personas en el pasillo Recreo Otro, ¿cuál?	c. ¿De dónde vienen los ruidos? Salón de clase Pasillo Salón de clase de al lado Patio Abajo Arriba Calle Otro, ¿cuál?
	d. ¿En qué forma se escucha? Continua una vez Más de tres veces	
Sigue con estas preguntas:		
e. ¿Cómo escuchas tú las voces en una clase? Siempre Casi no se escucha No escucha	f. ¿El sonido de las voces de tus compañeros te molesta al recibir tu clase? SI No	g. ¿Cuáles clases molestan más la actividad en el aula de clase? Clase normal Clase de música Otra

Figura 5-69: Ejemplo diligenciamiento tema auditivo. Fuente elaboración propia

En cuanto al componente **iluminación**, se controlan las variables al momento de las preguntas en situación de iluminación natural y posteriormente con iluminación artificial. Son comunes a las dos situaciones preguntas de tipo nominal: ¿Cómo es la iluminación sobre tu mesa de trabajo? (a) y las dicotómicas sobre la presencia de sombra (b.) y reflejos (c). En la iluminación natural además hay preguntas dicotómicas sobre molestia en los ojos por la entrada de luz directa (d) y la presencia de luz directa sobre la mesa (e.) y de tipo nominal ¿Es necesario encender las luces en el día? (f), (Figura 5-70).

7. ILUMINACION NATURAL		
a. ¿Cómo es la iluminación sobre tú mesa de trabajo? Mucha Buena Poca	b. ¿Tienes sombra sobre tú mesa, que dificulte tú trabajo? Si No	c. ¿Existen reflejos (sol) sobre tú mesa, tablero o ventana? Si No
d. ¿La entrada de luz por ventana te genera molestia a los ojos? Si No	e. ¿Tienes sol directo sobre tú mesa de trabajo? Si No	f. ¿Es necesario encender las luces durante el día? Siempre A veces Nunca
7. ILUMINACION ARTIFICIAL		
a. ¿Cómo es la iluminación sobre tú mesa de trabajo? Mucha Buena Poca	b. ¿Tienes sombra sobre tú mesa, que dificulte tú trabajo? Si No	c. ¿Existen reflejos (sol) sobre tú mesa, tablero o ventana? Si No

Figura 5-70: Ejemplo diligenciamiento tema visual. Fuente elaboración propia

En cuanto al componente, **sensaciones**, hay preguntas acerca de la comodidad/incomodad; seguridad/inseguridad; agrado/desagrado y concentración/distracción, que son de tipo politómico (a, b y la c respectivamente); y, de tipo múltiple sobre las características que más gustan del aula (i). El resto de las preguntas son de tipo dicotómico referidas a las actividades posibles dentro del aula. (Figura 5-71).

8. SENSACIONES		
a. ¿Cómo te sientes en el aula de clase? CÓMODO <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Incomodo <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	b. ¿Qué te produce el aula de clase? Agrado Desagrado	c. ¿Qué te genera el aula de clase? Concentración Distracción
d. ¿Te animas a realizar las actividades de la clase? Si No	e. ¿Puedes oscurecer el aula? Si No	f. ¿Puedes dibujar correctamente en el aula? Si No
g. ¿Puedes leer correctamente en el aula? Si No	h. ¿Puedes realizar cualquier tipo de actividad sin dificultades? Si No Cuál no.....	i. ¿Qué características de aula te gustan más? Su color Su iluminación Su tamaño Su limpieza Las vistas hacia afuera Sus muebles

Figura 5-71: Ejemplo diligenciamiento tema sensaciones. Fuente elaboración propia

5.4. Sistema de Procesamiento de Auditoria: Objetiva + Subjetiva (SISPA O+S)

En correspondencia con los temas de la AAPU, el SISPA O+S ⁽²⁾ se organiza en solapas en función de cada uno de los componentes del estudio: datos de medición, personales, vestimenta, temperatura y humedad relativa, ventilación, sonido, iluminación natural y artificial y satisfacción para cada una de las mediciones y encuestas en las aulas auditadas. A continuación, se expone la composición del SISPA, el cual es presentado en detalle para cada una de las aulas en el mes de marzo (Anexo 7) y en el mes de agosto (Anexo 8). En las primeras solapas se ingresan los datos generales: datos del colegio y del aula, día de medición y hora, así como los datos climáticos por estación meteorológica y los datos de confort local según Norma en cada uno de los temas:

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

- **Tema visual:** rango de Iluminancia interior para aulas escolares. Nivel promedio mínimo 300 lux y 500 lux (NTC 4595, 2006 y 2015) respectivamente. Mínimo 300 lux, medio 500 lux y máximo 750 lux indicado por Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público-RETILAP. Otros indicadores como Factor de Luz día (FLD o Coeficiente de Luz Diurna, CLD) de 2% y coeficiente de uniformidad (U) 60%. (NTC 4595, 2015).
- **Tema auditivo:** ruido de fondo entre 40 dB a 45 dB (NTC 4595, 2015) y tiempo de reverberación entre 0.90 a 1.0 segundo.

² **SISPA O+S.** Es un sistema de Sistema de Procesamiento de Auditoria, Objetiva + Subjetiva, en correspondencia con los temas de la AAPU. El SISPA O+S se organiza en solapas en función de cada uno de los componentes del estudio: datos de medición, personales, vestimenta, temperatura y humedad relativa, ventilación, sonido, iluminación natural y artificial y satisfacción para cada una de las mediciones y encuestas en las aulas auditadas, conformando en forma automática índices, indicadores y estadística descriptiva. Fue aplicado en los siguientes países: Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, México y Rep. Dominicana. (San Juan G., Hoses S. Proyecto: "Aprendizaje en las Escuelas del siglo XXI" - BID RG-T2011, 2014).

A continuación se presenta la primera solapa en la Figura 5-72:

INSTITUCIÓN EDUCATIVA ISAIAS
DUARTE CANCINO

AUDITORIA AMBIENTAL AULA No. 2 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
DE PERCEPCIÓN DEL NIVEL: 5°-1 LA ARQUITECTURA DEL AULA
USUARIO PISO: 2 PARA EL TROPICO

01. DATOS	
DATOS GENERALES	
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO INSTITUCIÓN EDUCATIVA ISAIAS DUARTE CANCINO	
LOCALIZACIÓN	
LATITUD:	3°24'40" N
LONGITUD:	76°29'10,74
ALTURA SOBRE NIVEL DEL MAR (m):	951
CLIMA	
TIPO DE CLIMA	CÁLIDO ÁRIDO
TEMPERATURA MEDIA ANUAL	24.8 °C
TEMPERATURA MAXIMA MEDIA	29.9 °C
TEMPERATURA MINIMA MEDIA	19.4 °C
HUMEDAD RELATIVA MEDIA ANUAL	72.2 °
PRECIPITACIÓN (mm) MEDIA ANUAL	1266.1 mm
RANGOS DE CONFORT LOCAL	
TEMPERATURA MINIMA	23 °C
TEMPERATURA MAXIMA	26 °C
HUMEDAD RELATIVA MAXIMA	50 °C
VELOCIDAD MEDIA DEL AIRE <	0.15 m/s
COEF LUZ DIURNA MINIMA (CLD)	2
COEF LUZ DIURNA MAXIMA (CLD)	5
DATOS AUDITORIA MARZO 2017	
FECHA:	Día: 22 Mes: 3 Año: 2017
HORARIO	MAÑANA <input checked="" type="checkbox"/>
	TARDE <input type="checkbox"/>
	NOCHE <input type="checkbox"/>
NÚMERO DE ESTUDIANTES	34
NIVEL DEL CURSO	5-P
EDADES	8 A 14
ESTADO DEL CIELO	DESPEJADO <input checked="" type="checkbox"/>
	NUBLADO <input type="checkbox"/>
	CUBIERTO <input type="checkbox"/>
FACTOR DE USO AULA	MAÑANA <input checked="" type="checkbox"/>
	TARDE <input type="checkbox"/>
	NOCHE <input type="checkbox"/>
NOMBRE AUDITORES	LUISA PEÑA PEREA ANGIE PABON M.
EMAIL AUDITORES	luisaplo@hotmail.com angie_dpm@hotmail.com





*Figura 5-72: Solapa datos de medición generales. SISPA O+S
Fuente: basado en (San Juan et al., 2014)*

En la siguiente solapa se detallan los registros promedio en las aulas con el empleo de los equipos especializados. También se consignan los valores de iluminancia natural y artificial registrados sobre cada puesto de trabajo y, por último, se presentan las gráficas con los valores resultados de los registros cada 10 minutos (Figura 5-73).

**AUDITORIA AMBIENTAL
DE PERCEPCIÓN DEL
USUARIO**

INSTITUCIÓN EDUCATIVA ISAIAS

DUARTE CANCINO
AULA No. 2
NIVEL: 5°-1
PISO: 2

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
LA ARQUITECTURA DEL AULA
PARA EL TROPICO

02. DATOS DE MEDICIÓN

MEDICIÓN INSTANTANEA

FECHA AUDITORIA	Marzo 22 2017
HORA INICIO	12:05 M
HORA FINALIZACIÓN	12:50 Pm
PERIODO DE MEDICIÓN	45 MINUTOS

TEMPERATURA AMBIENTE (°c)

AULA OCUPADA	30.2	°c
PASILLO	26.9	°c
EXTERIOR	26.9	°c

TEMP SUPERFICIAL MURO EXPUESTO (°c)

INTERIOR	25.5	°c
----------	------	----

HUMEDAD RELATIVA (%)

AULA OCUPADA	57.5	%
PASILLO	67.9	%
EXTERIOR	67.9	%

SONIDO Db (A)

AULA	79.4	dB (LZT)
AULA	78.1	dB (LAT)
AULA OCUPADA	2.14	TR mid
AULA SIN OCUPACIÓN	2.52	TR mid
VALOR N. ACEPTABLE dB S/NORMA	40-45	dB (A)
VALOR N. ACEPTABLE TR S/NORMA	0,9-1	segundos

ILUMINACIÓN NATURAL (LUX)

	176	211	222	218	206	168
	263	305	282	268	254	195
	422	472	367	336	350	260
	832	642	490	402	357	670
	1125	843	601	472	480	1050
	1455	1034	587	492	471	550
	7	6	5	4	3	2

ILUMINACIÓN EXTERIOR (USB)	38700	Lux
NIVEL MÍNIMO CONFORT	300	Lux
NIVEL MEDIO CONFORT	500	Lux
NIVEL MÁXIMO CONFORT	750	Lux

ILUMINACIÓN ARTIFICIAL (LUX)

	329	374	394	396	367	349
	406	507	425	457	415	332
	590	667	391	515	521	393
	943	879	117	619	552	812
	1290	1092	723	611	594	909
	1470	200	762	562	515	534
	7	6	5	4	3	2

ILUMINACIÓN EXTERIOR (USB)	38700	Lux
NIVEL MÍNIMO CONFORT	300	Lux
NIVEL MEDIO CONFORT	500	Lux
NIVEL MÁXIMO CONFORT	750	Lux

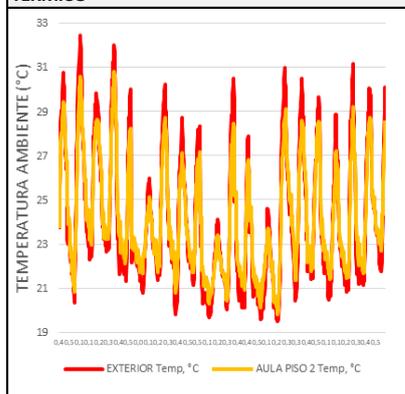
MEDICIÓN INSTANTANEA

FECHA INICIO	Marzo 12 2017
FECHA FINAL	Marzo 22 2017
PERIODO DE MEDICIÓN	22 Dias

EQUIPAMIENTO

Equipo	Local	Temp.	H.R.	Sonido	Lux
LM 8000 A	Aula	X	X		X
Hobo U2-012	Aula		X	X	X
AR 320	Aula	X			
Hobo Pro V2	Ext.		X	X	X
Cesva Sc260 S.	Aula			X	
Cesva Sc260 C.	Aula			X	

TERMICO



HUMEDO

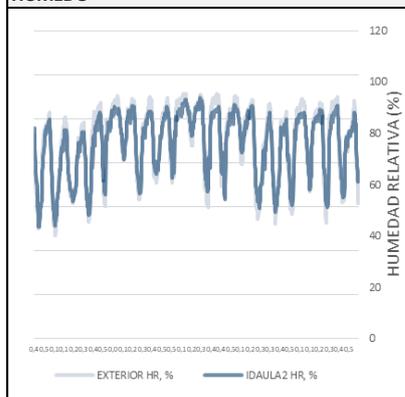


Figura 5-73: Solapa datos de medición específicos

Fuente: Fuente: basado en (San Juan et al., 2014)

En las solapas siguientes se organiza la información de acuerdo a la estructura presentada en la figura 5-74. En la parte superior, se localiza la información del aula y la ubicación por códigos de los estudiantes dentro de ella. En la parte inferior, se ingresan las respuestas de acuerdo con las preguntas realizadas como parte de la AAPU, las cuales se complementan con gráficos. Ver detalle de cada una de las SISPAS O+S de los meses de marzo y agosto, en los Anexos 7 y 8 respectivamente.

Información del aula

Ubicación en el aula

Respuestas por estudiante

Preguntas de la AAPU

Códigos estudiantes

Respuestas por cada estudiante

Espacio para los gráficos

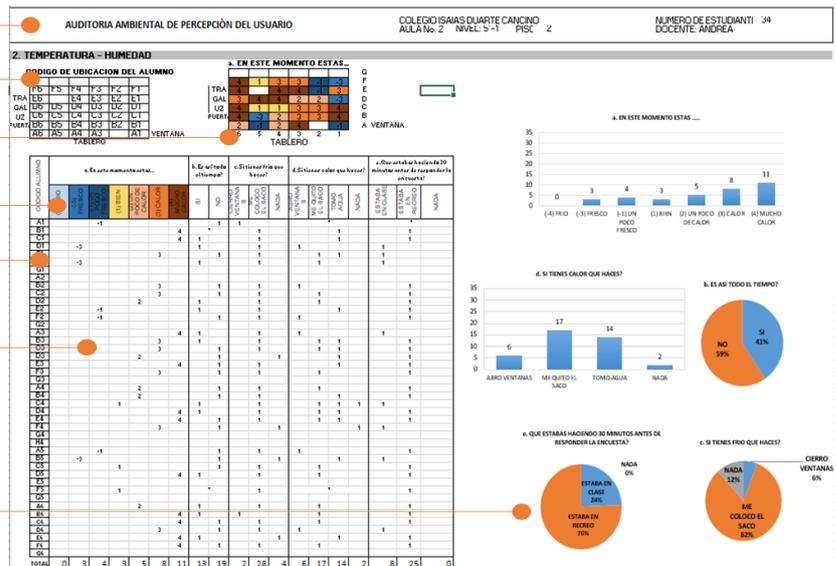


Figura 5-74: temperatura y humedad en el SISPA O + S. Fuente: Fuente: basado en (San Juan et al., 2014)

Las solapas de datos corresponden a:

- **Datos personales.** Se ingresan datos como la edad y género, las cuales son de vital importancia para el análisis y caracterización del confort de las aulas del estudio, permitiendo identificar el género de la mayoría de los participantes y su ubicación dentro del aula.
- **El aislamiento de la ropa (clo).** Corresponde a la sumatoria de prendas que conforman los uniformes acordes a la condición de verano, los que oscilan entre 0,5 y 0,7 clo y se categorizan como muy livianos, livianos y abrigados. La actividad metabólica (met) fue asumida como 1,2 met para personas ligeramente sedentarias indicada por ASHRAE (ANSI/ ASHRAE, 2017).
- **Temperatura y humedad relativa:** Se consigna la sensación térmica por cada uno de los ocupantes del salón
- **Ventilación.** Sobre las percepciones acerca de si el aire es pesado o si en el puesto de trabajo se percibe, así como también si el aire genera molestias o no.
- **Sonido.** Acerca de la percepción de ruidos molestos, así como su procedencia, la molestia con respecto a las voces de los compañeros y la percepción de acuerdo a su ubicación dentro del aula.
- **Iluminación.** Abarca dos solapas. La primera, acerca de la iluminación subjetiva, se ingresa las percepciones de los estudiantes. En esta se puede visualizar rápidamente el

porcentaje de valoración positiva o no, acerca de la iluminación como su ubicación dentro del aula. La segunda, sobre la iluminación objetiva, contiene los valores de iluminancia natural y artificial sobre puesto de trabajo para cada uno de los estudiantes y sobre plano de trabajo y su ubicación dentro del aula. A partir de estos datos en la parte inferior, se permite el cálculo automático de:

- Los valores de **iluminancia (lux)** o iluminación absoluta registrada en forma puntual sobre el escritorio de cada estudiante. La iluminancia (I), es la cantidad de flujo luminoso recibido en una superficie, dividido por el área de esa superficie: $E = I/d^2$, siendo su unidad el Lux = lm/m²
- **FLD** (Ecuación 1), es un indicador que expresa el porcentaje la disponibilidad de luz en espacios interiores y su potencial de ahorro de energía, debe estimarse mediante el coeficiente de luz diurna promedio. Se construye en la relación, entre la iluminancia interior (E int) aportada por luz natural a la altura del plano de trabajo y la iluminancia en el exterior (E ext) determinada en el mismo instante. Este indicador cuantifica los efectos del exterior y del interior en la iluminancia de un espacio interior considerando aquellos factores de la edificación que median entre ambos espacios, tales como, tipo y ubicación del aventanamiento, sistemas de sombreado o protección solar, obstrucciones exteriores, coeficientes de reflexión interior, cortinas u otros componentes de la envolvente edilicia. El nivel aceptable para la Norma NTC 4595 es de un FLD no inferior al 2% ⁽³⁾.

Ecuación 1

$$FLD (\%) = \left(\frac{lux}{Lux} \right) * 100$$

En donde:

lux= Iluminancia interior

Lux= Iluminancia Exterior

³ El **FLD** (Factor de Luz Diurna) es un índice que es considerado en la norma NTC 4595, aunque en otros países se utilizan normas donde se trabaja con el **CLD** (Coeficiente de Luz Diurna), Argentina o **FIN** (Factor de Iluminación Natural (FIN), en España, **FLD** (Factor de Luz Diurna), Inglaterra o **DF** (Daylight Factor).

- Coeficiente de uniformidad (Ecuación 2), es un indicador que califica los niveles lumínicos en las distintas zonas del espacio analizado y tiene relación directa con la capacidad del órgano visual de adaptarse a las condiciones lumínicas, determinando grados de confort o discomfort. La razón de Uniformidad propuesta como aceptable por la Norma NTC 4595 es de un U no inferior a 0,6 (para la versión del 2000) y de 50% en la versión actualizada. Se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2

$$U_o (\%) = \left(\frac{lux_{min}}{lux_{medio}} \right)$$

En donde:

lux_{min} = Iluminancia mínima interior

lux_{medio} = Iluminancia media interior

- En el tema auditivo, en las primeras solapas se establecen las condiciones de confort en las variables ruido de fondo, el cual no debe superar el rango indicado por la NTC 4595 entre 40 y 45 dB(A) y tiempo de reverberación entre 0,9 y 1,0 segundo, para las aulas elegidas en este tipo de estudio. Por otro lado, en la solapa que recoge la percepción en este tema, se procesan las preguntas alrededor del ruido, inteligibilidad del discurso y los factores que puedan perturbar la actividad y escucha en el aula.
- La última de las solapas recoge las sensaciones de los estudiantes con respecto a diversos aspectos del aula, los cuales pueden representar sensación de bienestar o desagrado, así como las características del aula que más llaman la atención.

5.5. Técnicas para el análisis: Confort y Norma NTC 4595

A continuación, se presentan las herramientas para el procesamiento de la información, así:

5.5.1. Confort

Como resultado de la AAPU y del procesamiento en SISPA O+S, es posible realizar el análisis sobre la situación de confort, el cual implica el cruce de los datos objetivos con los subjetivos. Con esta información es posible relacionar el análisis del confort en comparación con los

límites de la Norma, así como la contrastación con la predicción teórica de los modelos para revisar su efectividad. Para el análisis del confort bajo el modelo “Analítico”, se determina, a través de procesamiento estadístico, la media ponderada de los “votos” por salón, para identificar el voto de sensación térmica- VST promedio (ver resultados en Anexo 9).

Para hacer la comparación entre el % de PPD bajo el modelo PMV en comparación con lo arrojado por las encuestas sobre la escala de sensación térmica (EST), se asumen los votos entre -3, -2, y, entre +2 y +3, como votos de estudiantes insatisfechos (ASHRAE/ANSI, 2017, p. 39). A partir de la media ponderada de los votos de sensación térmica por salón (VST), es posible comparar, el resultado de la percepción de los ocupantes, con el valor previsto por el índice PMV y verificar su pertenencia en los casos de estudio.

Para comparar el confort térmico percibido por los estudiantes, con la predicción de los modelos teóricos, se usa la herramienta CBE/ASHRAE Thermal Comfort Tool, desarrollada por el Center for the Built Environment (CBE), University of California Berkeley (Hoyt et al., 2017), explicada de una manera amplia en Standard 55 User’s Manual (2013), usada en el análisis térmico en aulas en clima ecuatorial (Subhashini & Thirumaran, 2018), viviendas (Rodrigo, Sanabria, Marchamalo, y Umana, 2012) y en clima sub tropical (Baruah, Kumar Singh, & Mahapatra, 2014), en aulas universitarias.

Para la Norma, bajo el modelo analítico, el rango de confort está entre $-0,5 < PMV < +0,5$ con $PPD < 10\%$ (Standard, 2017). Para hallar la sensación térmica, el PMV y PPD, los datos de ingreso son temperatura ambiente (T_a) temperatura media radiante (T_{mr}) ($^{\circ}C$), Velocidad del aire (V) (m/s), humedad relativa (HR) (%), met y clo, (Figura 5-75). Y, para la aceptabilidad bajo el modelo adaptativo, se ingresa la Temperatura operativa (T_o) y la temperatura ambiente exterior promedio ($\overline{T_{pma(ext)}}$), (Figura 5-76).



Figura 5-75: Hallazgo del PMV y PPD

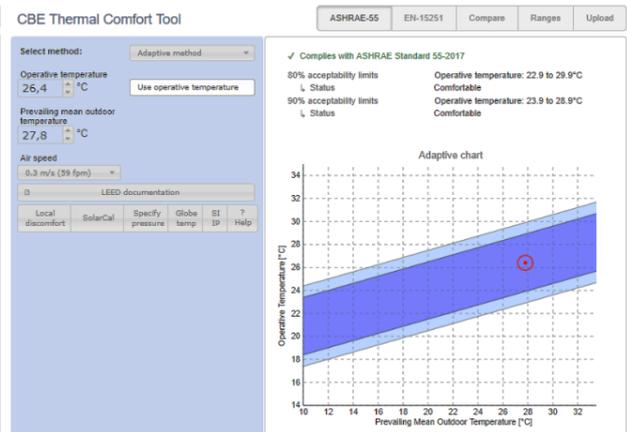


Figura 5-76: Hallazgo aceptabilidad térmica bajo el modelo adaptativo

Fuente: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Otros valores necesarios para el análisis del confort térmico, se hallan a través de los siguientes procedimientos (ver datos de soporte y resultados en Anexo 10):

- **La temperatura media radiante (T_{mr})**, se determinó usando factores de forma, emisividades y temperaturas de cada superficie (Forbes, 2017) y la ecuación presentada en el Capítulo No. 8 de ASHRAE (ASHRAE, 2005).

La temperatura operativa (T_o), se calcula mediante la ecuación (Ecuación 3) propuesta por ASHRAE (ASHRAE/ANSI, 2017)

Ecuación 3

$$T_o = A * T_a + (1 - A) T_{mr}$$

Dónde:

T_o = Temperatura operativa

T_a = Temperatura del aire

T_{mr} = Temperatura media radiante

A (valor en función de la velocidad del aire) = 0,5 (<0,2m/s); = 0,6 (0,2 a 0,6 m/s); = 0,7 (0,6 a 1,0 m/s).

Para identificar la temperatura neutral (T_n), se desarrollan modelos de regresión lineal a partir de los votos de sensación térmica de las aulas en cada uno de los periodos de medición. A partir de estos, se identifica el cruce de las líneas de regresión lineal que muestra los votos de sensación térmica (VST) y el estado neutral (VST = 0), que indica la temperatura neutral (T_n) que representa el estado ideal de temperatura en que las personas se encuentran en confort

(Kwok & Chun, 2003) (Al-Rashidi, Loveday, & Al-Mutawa, 2009). En el tema del confort térmico se realizaron regresiones lineales que permiten identificar la relación y afectación entre variables objetivas, como la T_o , y la HR%, con los votos de sensación térmica de los estudiantes.

Las ecuaciones para determinar el límite superior (4) y el inferior (5), en el que el 80% de los ocupantes estarán en T_o de confort bajo el modelo adaptativo, se presentan a continuación (ASHRAE/ANSI, 2017):

Ecuación 4

$$\text{Aceptabilidad superior al 80\%} = 0.31 * \overline{T_{pma}(ext)} + 21.3$$

Ecuación 5

$$\text{Aceptabilidad inferior al 80\%} = 0.31 * \overline{T_{pma}(ext)} + 14.3$$

Donde:

$\overline{T_{pma}(out)}$ = Temperatura promedio exterior mensual

Para identificar el rango de T_a en confort (T_{acep}) y poder hacer análisis mensuales bajo el modelo Adaptativo, se parte de la temperatura promedio exterior para hacer la siguiente Ecuación 6 (Nicol, Humphreys, & Roaf, 2012)

Ecuación 6

$$T_{acep} = 0.31 * \overline{T_{pma}(out)} + 17.8 \pm T_{lim}$$

En donde:

T_{acep} = Temperatura aceptable

$\overline{T_{pma}(out)}$ = Temperatura promedio exterior mensual

T_{lim} = 2.5°C para 90° de aceptabilidad y 3.5°C para 80% de aceptabilidad

Por otro lado, en los temas visuales y auditivos, se verificaron las variables objetivas en cada uno registradas en el aula, en relación con las respuestas positivas y negativas de los estudiantes para analizar su relación.

Para el análisis del confort visual y auditivo, se retoman los valores máximos, mínimos y promedio de las variables de análisis resultantes en el SISPA O + S y se comparan los comportamientos entre las aulas en relación con el cumplimiento de los rangos de confort propuestos por la norma NTC 4595 y cuando sea necesario, se complementa con otras normativas de carácter nacional e internacional.

5.5.2. Norma NTC 4595. Confort y recomendaciones de diseño.

Para el abordaje de la Norma se presentó en la **PARTE 2: CONTEXTO DE PERTENENCIA** (Capítulo 3, numeral 3.4.) el diagnóstico de las principales estrategias de la norma para alcanzar aulas confortables, organizadas desde las categorías identificadas en el presente estudio. De manera posterior, en la **Parte 4: RESULTADOS**, se desarrolla el análisis de las estrategias propuestas y el cumplimiento en las aulas del estudio.

Para el análisis propuesto en cada aula se discriminan cada uno de los aspectos que integran las recomendaciones de diseño, así como los rangos de confort y se pondera su cumplimiento, indicando como 1 (si cumple) y 0 (en el caso de no cumplimiento), para las dos versiones de la norma (año 2000 y 2015), por los cambios que implica la actualización. De acuerdo a lo anterior, resultan las matrices detalladas con la ponderación en los temas térmicos (Anexo 11), visual (Anexo 12) y auditivo (Anexo 13), los cuales se ilustran en paralelo a través de esquemas analíticos, para observar la situación por aula.

Para guardar el orden y una fácil identificación de los temas (Figura 5-77), a la derecha se listan las recomendaciones de diseño de acuerdo a la numeración realizada en la norma de la versión del año 2000, luego se indica la recomendación, seguida del estado en que se encuentra en el aula y lo que recomienda la norma en las siguientes columnas. Al final se realiza la ponderación en las dos versiones de la norma.

La norma establece diferente cantidad de recomendaciones en cada tema, para el visual 25 recomendaciones, en el térmico 13 y en el auditivo 6. Finalmente se realiza una síntesis que integra los tres temas, la cual sirve como base para la comprobación de hipótesis (Anexo 14).

Análisis gráfico

Información aula

Imágenes aula

Numeración norma

Descripción

Estado en aula estudiada

Recomendación año 2000

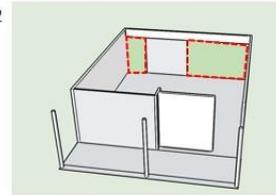
Recomendación año 2015

Ponderación año 2000

Ponderación año 2015

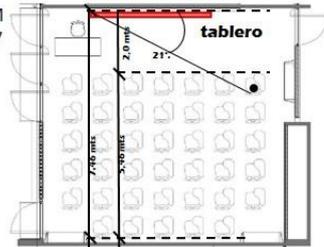
ANEXO 12 ANÁLISIS DE LA NORMA NTC 4595: COMODIDAD VISUAL								
INFORMACIÓN BÁSICA		Aula tipo: Espado 8 po A						
SAJAS DUARTE		Aula No.	1	Nivel	6.2	Mód. Agente		
		2013	Piso	1	Docente	Uno		
ÁREA DE PISO (m ²)	ÁREA DE PISO (m ²)	6,185	ANCHO (mts)	7,8	LARGO (mts)	7,93		
		Área/Estudiante		Área/Estudiante		2,06		
		Altura (mts)		Altura (mts)		2,8		
								
Configuración climática		NORMA AÑO 2000		NORMA AÑO 2015				
Zona climática		Cálido húmedo		Cálido seco				
Brillo solar				2100 h y 2500 h promedio				
ASPECTOS A EVALUAR								
ITEM	ESTADO ACTUAL	NORMA AÑO 2000	NORMA AÑO 2015	CUMPLE AÑO 2000	CUMPLE AÑO 2015			
7.2.2	Área efectiva equivalente de aberturas, en relación al área de piso (m ²)	13,40	1/5 del área	12,4	1/4 del área	15,5	0	0
7.2.3	Hay elementos de obstrucción al debe aumentar un 60% (m ²)	Persiana	19,82	24,7			0	0
7.2.3	Materiales traslucidos	No hay	N/A	N/A				
7.2.4	Iluminación natural proveniente del exterior. Dimens en patos (mts)	Del exterior	Patos mayores 9 (mts)	Patos mayores 9 (mts)			1	1
7.2.5	Separación entre edificaciones (m) Equivalente a la luz entre el piso más bajo y el más alto sobre una línea perpendicular	o hay límite	6,5	6,5			1	1
7.2.6	Área de las aberturas quedan a espacios superiores que no cumplan con el punto 7.2.5. (%)	N/A	Máx 30% del área de las aberturas	Máx 30% del área de las aberturas				
7.2.7	Distancia entre el tablero y primera fila (m)	2	Mín 2mts	Mín 2mts			1	1
7.2.7	Distancia máxima entre el tablero y la última fila (m)	7,46	Máx 9 mts	Máx 9 mts			1	1
7.2.7	Ángulo de visión entre el tablero y el observador (°)	21,2°	≥ a 30°	Mayor a 30°			0	0
7.2.8	Eje de fachada respecto al eje norte sur (°)	71,47°	90°	90°			0	0
7.2.8	Si la orientación no es perpendicular al eje norte sur (90°) hay elementos de protección	Si (alero)	Aleros, persianas, alerías	Aleros , persianas, alerías			1	1
7.2.9	protección de los elementos de mayor valor o deben proveer aberturas en otros planos	Si (Puerto persiana)	Mayor a 6 mts	Mayor a 6 mts			1	1
7.2.10	Superficies de pisos con coeficientes de reflexión (%)	13% (Ladrillo gris natural)	no inferior a 15% 30%	no inferior a 15% 30%			1	1
7.2.10	Paredes pintadas pero no enfrentadas a las aberturas (Coeficiente de reflexión %)	23% (Cemento gris natural)	no inferior a 30% 70%	no inferior a 50% 70%			0	0
7.2.10	Paredes con aberturas o enfrentadas a estas (Coeficiente de reflexión %)	47% (Ladrillo blanco)	no inferior a 74% o superior	no inferior a 74% o superior			0	0
7.2.10	Superficies de cielos rasos (Coeficiente de reflexión %)	23% (Cemento gris natural)	no inferior a 80% o superior	no inferior a 80% o superior			0	0
7.2.10	La ubicación de claraboyas	si	garantizar que la luz llegue de forma indirecta al puesto	garantizar que la luz llegue de forma indirecta al puesto			1	1
7.2.11	Ubicación de tableros	En paredes sin aberturas	paredes sin aberturas	paredes sin aberturas			1	1
8.2.7.4	Altura de antepechos (800 básicos y medij medidos desde el piso) (m)	Varios piso a techo	N/A	N/A				
7.2.12	Niveles de iluminación igual o superior al recomendado para iluminación natural (lux) (%)	305	300	500			1	0
7.2.12	Niveles de iluminación igual o superior al recomendado para iluminación artificial (lux) (%)	683	300	500			1	1
7.2.12	Factor de luz día natural (%)	1,08	Superior a 2%	Superior a 2%			0	0
7.2.12	Factor de luz día artificial (%)	2,08	Superior a 2%	Superior a 2%			1	1
7.2.12	La razón de uniformidad de la luz natural (%)	6,1	Superior al 60%	Superior al 60%			0	0
7.2.12	La razón de uniformidad de la luz artificial (%)	6,12	Superior al 60%	Superior al 60%			0	0

ITEM 7.2.2 Área de abertura Real.



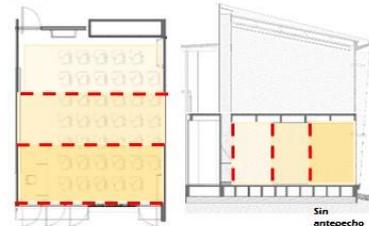
Total 13,97 m².

ITEM 7.2.7



Distancia entre el tablero y primera fila.
Ángulo de visión entre el tablero y el observado.

ITEM 7.2.12 Agosto Nivel de iluminación en lux aula 1



Natural. 706 355 140
Artificial. 1140 804 448

Figura 5-77: componentes de la del formato de ponderación de la norma NTC 4595.
Fuente: elaboración propia

Para la validación de las hipótesis se conforman grupos de aulas según su cumplimiento de la Norma, a partir de clúster realizado bajo el software Matlab, el cual permite la conformación de grupos por similitud de condiciones en cada uno de los temas, basado en algoritmos, con el fin de lograr una segmentación de los grupos más coherente. Los grupos resultantes, se correlacionan con los resultados de los campos objetivos y subjetivos de la Auditoria Ambiental, es decir, con los datos medidos in situ y los percibidos por los estudiantes.

Por otro lado, para la verificación de la incorporación de estrategias bioclimáticas y las recomendaciones de diseño propuestas por la norma en el proceso de diseño, se consultan a varios actores claves, así (Tabla 5-5):

Tabla 5-5: Actores claves e instrumentos aplicados

Actores Claves	Instrumento	Cantidad
Rectores de los colegios estudiados	Entrevista semi-estructurada	4
Profesionales: Arquitectos, ingenieros y técnicos encargados de la gestión, mantenimiento y construcción de los colegios	Grupo focal	6
Estudios de arquitectura escogidos con los siguientes criterios con el fin de dar cuenta de una labor profesional y metodológicamente reflexiva:		
<ul style="list-style-type: none"> • Diseñadores de colegios y/o edificios no residenciales • Docentes universitarios en las diferentes facultades de la ciudad: Universidad de San Buenaventura, Javeriana y Universidad del Valle. 	Entrevista semi-estructurada	25

Fuente: elaboración propia

A los rectores se les preguntó básicamente por las condiciones de confort presentes en las aulas, mientras que a los profesionales y estudios de arquitectura se les indagó por lo siguiente:

- En el proceso de diseño, ¿cómo incorpora los datos y procesos de los sistemas involucrados (estructural, hidrosanitario, eléctrico, etc.)?, ¿Limitan la imaginación?
- En cuanto a las pautas de diseño en relación con la calidad ambiental interior y exterior en los temas térmicos, lumínicos y sonoros: ¿Limita la imaginación?
- ¿Cuenta con herramientas de apoyo como plantillas solares, software y/o asesoría de expertos? No/Sí. Si la respuesta es afirmativa: ¿En qué momento los incorpora?
- ¿En qué momento incorpora la norma NTC 4595: Planeamiento y Diseño de instalaciones y ambientes escolares?
- ¿Ha tenido la posibilidad de conocer cómo es la habitabilidad (en relación con los temas térmicos, lumínicos y sonoros) de los proyectos que ha diseñado?, ¿Cuál ha sido el principal aprendizaje?
- ¿Cuáles son las principales etapas en su proceso de diseño?

5.6. Comprobación de los estados anuales de las estrategias de diseño

La síntesis realizada a partir de la AAPU, se complementa con los desempeños anuales de las estrategias de diseño. Para esto, se realizan simulaciones que permiten identificar el comportamiento térmico y visual en un periodo de tiempo anual. Mientras las simulaciones en el tema auditivo, permiten verificar las condiciones acústicas del aula resultado del diseño. Las estrategias aplicadas en los tres temas, se basan en las recomendaciones de la Norma NTC 4595, así: i) Dimensiones de ventanas, ii) Elementos de protección solar en fachada, iii) Materiales de la envolvente, iv) orientaciones y v) elementos del contexto inmediato (Figura 5-78), así:

		COMPONENTES DEL CONFORT			
		TERMICO	VISUAL	AUDITIVO	
ALTERNATIVAS DE DISEÑO NORMA NTC 4595	1	Aberturas	Diferentes tamaños de aberturas en relación con el área de la planta		
	2	Protección radiación	Elementos horizontales y verticales de protección en fachada		
	3	Materiales	Masa térmica	Reflexión	Absorción acústica
	4	Orientación	Diferentes alternativas de orientación		
	5	Contexto	Diferentes alternativas del contexto inmediato		

Figura 5-78: Alternativas de diseño en los tres componentes del confort. Fuente: Elaboración propia.

Las alternativas en los temas térmicos y visuales son comunes, mientras que, en el auditivo, solo se aplican variaciones en cuanto a los tamaños de aberturas y materiales, tal y como lo indica la norma y además no tienen implicación directa el tema. Para la verificación del comportamiento anual de las estrategias de diseño se parte de un caso "base" en función de un aula del colegio Nuevo Latir (Figura 5-79) la cual se escoge por corresponder a la tipología tradicional de aula, sin ningún tratamiento especial en la envolvente como ocurre en las otras

aulas del estudio (persianas en la fachada (IDC), doble fachada (NGV), ventanas en las dos fachadas (JCC)); con las siguientes características generales (Tabla 5-6):

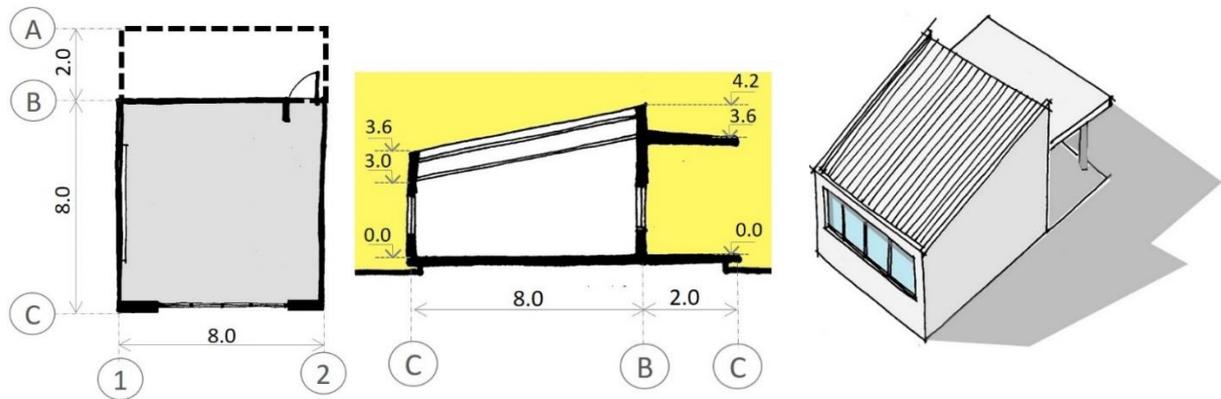


Figura 5-79: Caso base. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5-6: Características generales del caso "base"

Característica	Descripción		
Área	64 m ² (8m X 8m)		
Altura	3.00 m y 3.6 m en la parte más alta.		
Localización	Al final de bloque de aulas, con un lado expuesto y el otro lado que colinda con otra aula		
Orientación	Fachada principal expuesta predominantemente al sur.		
Ventanas	1/6 del área de la planta de 5.33 de ancho, 1.07 de alto (24% de fachada) tal y como lo recomienda la norma en el tema visual.		
Envolvente muros:	Bloque estructural de concreto (material recomendado por norma).	Acabado exterior:	Repello y pintura y enchape de mármol
		Acabado interior	Dos paredes en claro y dos en gris, sin ningún tipo de tratamiento acústico
	Piso en baldosa		
	Cubierta tipo sándwich expuesta a la vista		
Condición del exterior	Ningún tipo de obstrucción como indica la norma para el tema visual		

Fuente: elaboración propia.

El modelo se desarrolla con las especificidades de cada software de simulación utilizado, conservando las características en común (Figura 5-79). En los siguientes puntos se explica en detalle las características del caso "base" para la simulación y comprobación del estado anual en el tema térmico (punto 5.6.1), visual (punto 5.6.2) y auditivo (punto 5.6.3).

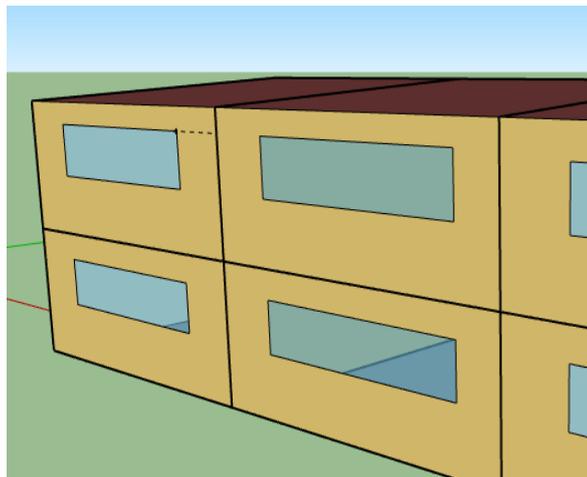
5.6.1. Simulación térmica

El diseño experimental se basó en un modelo de aula construido en entorno virtual que sintetiza las condiciones generales de los casos de estudio, aplicando las estrategias de diseño, con el fin de validar las que propone la Norma.

La simulación se realiza en el programa EnergyPlus versión 8.7. Los datos de localización del archivo climático: latitud 3.55, longitud -76.38, la zona horaria es -0.5 y la altitud de 969 msnm. Se establece la zona del aula del piso superior, como la representativa que es modelada, ya que guarda similitud con la situación térmica del piso 1, siendo más crítica por no contar con el contacto con el terreno y por tener cubierta expuesta al exterior.

5.6.1.1. Caso “base”: Térmico

El modelo se carga con las propiedades y características de las aulas del colegio Nuevo Latir como se explicó anteriormente, lo que permite partir de una situación base medida en el sitio y lograr un mejor ajuste en el modelo, para una posterior verificación de las estrategias (Figura 5-80).



*Figura 5-80: modelo del caso base para la simulación térmica en EnergyPlus.
Fuente: elaboración propia*

Las características se describen a continuación en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7: características del caso base térmico

DESCRIPCION	VALORES	EXPLICACION
Tipo de edificio	Aula Piso superior	Se realizan las simulaciones para el aula tipo en la condición más desfavorable
Dimensiones (m3)	8 x 8 x 3 (192m3)	El aula tipo tiene cubierta al exterior, y ventanas en las fachadas opuestas.
Conductividad cerramientos exteriores (W/m.K)	1.11	Los cerramientos exteriores son de bloque de concreto de 20 cms de espesor
Espesor (m)	0.2032	Bloque de concreto con cámara de aire interior
Porcentaje de vidrio en fachada principal (%)	24	Ambas fachadas tienen aberturas hacia el exterior o la galería
Porcentaje de vidrio en fachada galería (%)	24	
Conductividad del panel de vidrio fachada(W/m.K)	0.9	Vidrio doble
Espesor (m)	0.003	
Transmitancia solar(Lumínica)	0.83/0.89	
Transmitancia (U) de elementos de cubierta (W/m ² C):	1.19	Espesor (m) (Metal=0.0008; aislamiento=0.025; metal=0.0008). Conductividad (λ) (metal=45.2; aislamiento=0.3; metal=45.2) Sin cielo falso
Transmitancia (U) de elementos de entrepiso (W/m ² C):	2.03	Espesor (m) (Losa concreto=:0,10; lamina panel yeso=0,019). Conductividad (λ) (Losa concreto=0,53; lamina panel yeso=0,16). Resistencia (R) cámara de aire= 0,18.
Conductividad de muros interiores (W/m.C)	0.53	Concreto: espesor (m)=0.10; conductividad (λ)=0.53
Conductividad carpinterías semi-interiores (W(m.C)	45.2	Metal: espesor (m)=0.0008; conductividad (λ)=45.2
Ganancias internas por usuarios (W/m ²)	2.15	Usuarios del aula en condiciones de actividad con poco movimiento
Ratio de ocupación	Días Laborables	7:00 a 08.00; 0.1, a 12:00; 0.2, a 23.00; 0.7, a 24.00; 1
	Días Festivos y fines de semana	00.000 a 24.00; 1
Ventilación natural (RXH)	12 RXH	12 Renovaciones Por Hora (RXH) en horario de uso, y 20% permanente ejemplificando la ventilación constante por persianas.
Nivel de actividad (met)	Según estándar	Nivel de actividad en reposo
Aislamiento vestimenta (clo)		Liviana para la condición de verano

Fuente: elaboración propia

La correlación entre la situación medida y el modelo resultó *muy alta* para el aula 2 ($R^2=0.75$) como se presenta en la Figura 5-81. El modelo se ajusta a partir de la ventilación natural, hasta 12 renovaciones por hora (RPH), en coherencia con la relevancia dada a la ventilación natural en los diseños de las aulas en una ciudad del trópico como Cali.

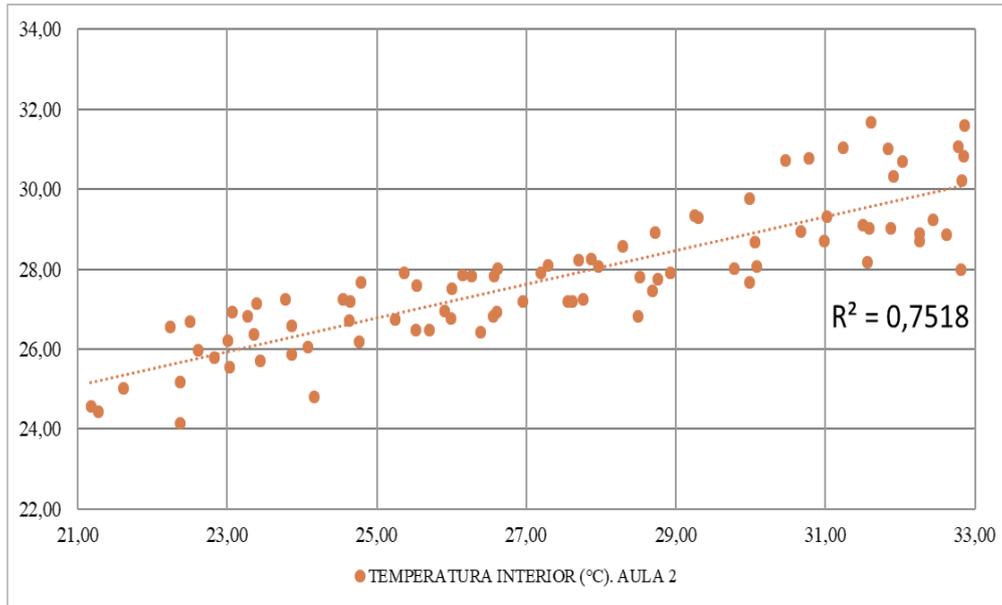


Figura 5-81: Correlación entre la temperatura (°C) medida al interior del aula en agosto (eje x) y la temperatura interior simulada (eje Y).

Fuente: elaboración propia

También resultó alta la relación entre las T_o promedio durante uno de los meses de medición, (con una coincidencia total), mientras las T_o máximas tuvieron una variación entre 1°C y 2°C y las T_o mínimas entre 1°C y 3°C (Tabla 5-8).

Tabla 5-8: Comparación aulas simuladas y medidas en trabajo de campo durante 30 días del mes de estudio.
Fuente: elaboración propia

To (°C)	AULA 1		AULA 2	
	SIMULADA(°C)	MEDIDA (°C)	SIMULADA (°C)	MEDIDA (°C)
Máximas	29	30	34	32
Promedio	25	26	27	27
Mínimo	20	23	20	23

Fuente: elaboración propia

Una vez ajustado el modelo y evaluada su situación de base, se plantean las estrategias de diseño en función de las recomendaciones de normas y se aportan otras recomendaciones.

5.6.1.2. Alternativas de diseño para el confort térmico

Las alternativas de diseño aplicadas al caso base, se basan en las recomendaciones de la Norma y se organizan por grupos como se presentó en la Figura 5-78 (Ver Anexo 15 para detalle los resultados). El **Grupo 1**, corresponde a diferentes tamaños de ventanas en relación con el área de la planta:

- Proporción 1/5 respecto al área de la planta.
- Proporción 1/9 respecto al área de la planta.
- Proporción 1/4 respecto al área de la planta.

Esta última, a pesar de no estar contemplada en la norma, se incluye por ser el área que predomina en las aulas del caso de Cali, de acuerdo a análisis previos realizados en el universo de análisis (Tabla 5-9).

Tabla 5-9: Grupo 1. Dimensión de ventanas

TERMICO VISUAL AUDITIVO					
1	Aberturas				
2	Protección radiación				
3	Materiales				
4	Orientación				
5	Contexto				
Abreviatura		1/6 CB	1/4	1/5	1/9
Nombre completo		Relación 1/6 del área del salón, caso base	Relación 1/4 del área del salón	Relación 1/5 del área del salón	Relación 1/9 del área del salón
Orientación		Sur (fachada principal)			
Cubierta exterior		Superficie Metálica+25mm aislamiento +superficie metálica			
Losa entepiso		100mm concreto ligero			
Muros		200mm bloque concreto			
Principal	Largo	5.00	7.60	6.00	7.60
	Alto	1.07	1.20	0.83	1.39
Galería	Largo	5.00	6.00	5.00	6.40
	Alto	1.07	0.61	0.43	0.84

Fuente: elaboración propia

En el **Grupo 2**, se contemplan las protecciones solares horizontales y verticales, aplicadas al caso 1/4 del área de ventana (en relación con el área del salón), por ser el de mayor área vidriada en relación a la envolvente opaca (Tabla 5-10).

Tabla 5-10: Grupo 2. Elementos de protección solar en modelo ¼

Abreviatura	PRO HO	PRO HO+	PRO VE +	PRO VE ++	PRO CA
Descripción	Protecciones horizontales	Más protecciones horizontales	Más protecciones verticales	Muchas más protecciones verticales	Calados
Orientación	Sur (Fachada principal)				
Cubierta	Superficie Metálica+25mm aislamiento +superficie metálica				
Losa entrepiso	100mm concreto ligero				
Muros	200mm bloque concreto				
Ventanas	Ventana 1/4				
Dimensión elemento	7.60X0.60		1.39X0.60		0.20X0.20
Cantidad	3	5	9	16	68

Fuente: elaboración propia

En el **Grupo 3**, presentado en la Tabla 5-11 y la Tabla 5-12, se detallan las variantes en los materiales que constituyen la envolvente del aula:

- Muros (Grupo A): bloque de concreto, bloque cerámico, panel yeso + cámara de aire + panel.
- ii) Cubierta (Grupo B): tipo sándwich con superficie metálica + aislante térmico+ sup. Metálica, losa de hormigón, losa de hormigón con cielo falso en panel yeso y cámara de aire.

Tabla 5-11: Grupo 3-A, materiales de la envolvente del aula

TERMICO VISUAL AUDITIVO			
1	Aberturas		
2	Protección radiación		
3	Materiales		
4	Orientación		
5	Contexto		
Abreviatura	1/6 CB	MU PA+A+PA	MU BL CE
Descripción	Muro en bloque de concreto	Muro en panel yeso + cámara de aire+ panel	Muro en bloque de ladrillo cerámico
Orientación	Sur		
Cubierta	Superficie Metalica+25mm aislamiento + superficie metálica		
Losa entrepiso	100mm concreto ligero		
Muros	Bloque de concreto	19mm panel yeso + cámara de aire+ panel	Bloque de ladrillo
Espesor (m)	0.10+ aire+0.10	0.019+aire+0.019	0.19
Transmitancia (W/m²C):	0.90	(0.12+0.16+0.14+0.16+0.05)	0.43
Ventanas	10.6 m2 (relación de 1/6 respecto al área del salón)		

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-12: Grupo 3-B, materiales de la envolvente del aula

TERMICO VISUAL AUDITIVO			
1	Aberturas		
2	Protección radiación		
3	Materiales		
4	Orientación		
5	Contexto		
Abreviatura	CU ME+CIE	CU CO	CU CO CON
Descripción	Cubierta tipo sándwich con aislamiento térmico con cielo falso al interior en panel yeso y cámara de aire	Losa de concreto sin cielo falso al interior	Losa de concreto con cielo falso al interior en panel yeso y cámara de aire
Orientación fachada ppal.	Fachada principal al sur		
Cubierta exterior	Superficie metalica+25mm aislamiento+ sup. metálica	Losa en concreto sin cielo falso	Losa en concreto con cielo falso en panel yeso +
Losa entrepiso	100mm concreto ligero		
Muros	200mm bloque concreto		
Espesor (m)	0.01	0.10	0.00 + aire+ 0.01
Transmitancia (W/m²C):	0.74	2.5	2.10 (0.12+1.63+0.14+0.16+0.05)
Ventanas	10.6 m2 (relación de 1/6 respecto al área del salón)		

Fuente: elaboración propia

En el **Grupo 4**, organizado en la

Tabla 5-13, están las alternativas de orientación diferentes a las del caso base, hacia el norte, este, noreste, oeste y suroeste.

Tabla 5-13: Grupo 4. Alternativas de orientaciones

Abreviatura	90°OE	45° NOR E	45° Sur O	67.5°SUR O	67.5° SUR E
Descripción	90 ° hacia el Oeste	45° hacia el Noreste	45° hacia el Suroeste	67.5° hacia el Sur oeste	67.5° hacia el Sur este
Orientación fachada principal	Este	Noroeste	Suroeste	Noreste	Suroeste
Cubierta	Superficie Metalica+25mm aislamiento + superficie metálica				
Losa entpiso	100mm concreto ligero				
Muros	200mm bloque concreto				
Ventanas	10.6 m2 (relación de 1/6 respecto al área del salón)				

Fuente: elaboración propia

Adicional a las alternativas anteriores, se simularon otra serie de orientaciones derivadas de la norma NTC 4595 (ICONTEC, 2000), con el fin de validar su comportamiento:

- 10° O= 10° hacia el oeste
- 10° E= 10° hacia el este
- 20° O= 20° hacia el oeste
- 20° E= 20° hacia el este
- 67.5° NOR O=67.5° hacia el noroeste
- 67.5° NOR E=67.5° hacia el noreste
- 45° SUR E = 45° hacia el sureste
- 45° NOR O= 45° hacia el suroeste

En el **Grupo 5**, se comprueban situaciones del contexto inmediato considerado por la norma como la distancia entre edificios, patios, y otra como la presencia de un árbol dada algunas condiciones de las aulas estudiadas (Tabla 5-14):

Tabla 5-14: Grupo 5. Alternativas de orientación

TERMICO VISUAL AUDITIVO				
1	Aberturas			
2	Protección radiación			
3	Materiales			
4	Orientación			
5	Contexto			
Abreviatura		5.PATIOS	5. (EDIFICIO)	6. ARBOL
Descripción		Patio de la altura del edificio	Galería cubierta entre edificios	Árbol como elementos de obstrucción
Especificaciones		Patio de 8 X 8 m	Distancia entre edificios de 4 m con una cubierta en cielo opaco (30% reflectancia)	Árbol de 6 m alto, 3 m Ø, y 3 m distancia a fachada

Fuente: elaboración propia

5.6.2. Simulación visual

La simulación se realizó exclusivamente para iluminación natural, con el fin de analizar el desempeño lumínico del aula durante la jornada escolar, con el aprovechamiento máximo de la luz solar tal y como lo promueve la norma. Se desarrollaron en la herramienta DIVA (del inglés Design Iterate Validate Adapt) (Jakubiec & Reinhart, 2012) para Rhinoceros 5. La ocupación del espacio se tomó de 8 a.m. a 5 p.m., de lunes a viernes, de acuerdo al horario de uso de los salones para uso escolar.

El archivo climático para la extensión de Cali (con extensión epw), corresponde a los parámetros para la ciudad en entorno tropical, en la zona cercana al océano pacífico, 3°25' latitud norte, 76°30' longitud oeste, entre 950 y 1100 msnm. La temperatura media anual es de 24.8°C, con una máxima de 29.9 °C, y mínima de 19.4 °C. La humedad relativa promedio es de 72.2 %, hay 1266 mm de precipitación anual, con 147 días de lluvia. La irradiación solar media es de 4.333 Wh/m, el brillo solar es de 5.1 horas al día y los días sin brillo solar al año son 1.6. El detalle de los resultados se presenta en el Anexo 16.

5.6.2.1. Caso “base”: Visual

Las características generales corresponden al caso base explicadas anteriormente y presentadas en la Figura 5-82). Al interior hay dos paredes de color claro (ubicadas en las paredes del pizarrón y su enfrentada) y dos de color gris concreto (en las paredes con las ventanas). Los coeficientes de reflexión de estas, como el del cielorraso y piso, se indican en la Tabla 5-15, de acuerdo a las características generales de las aulas del estudio. Las ventanas se constituyen por un vidrio simple claro.

El modelo base no cuenta con ningún elemento de protección en fachada que impida el ingreso de sol directo. El plano de trabajo se ubicó a 0.70 m sobre nivel del suelo, acorde con la altura de los puestos de trabajo de los estudiantes y una grilla de puntos distribuidos horizontalmente cada 50 cms.

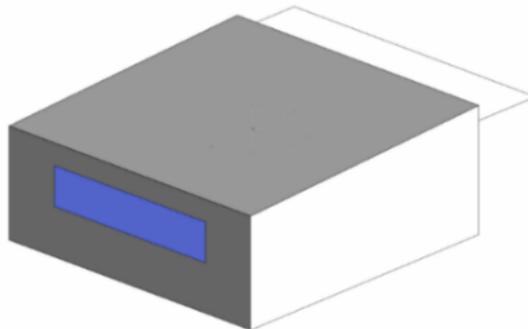


Figura 5-82: modelo del caso base para la simulación visual en entorno DIVA para RHINOCEROS.

Fuente elaboración propia

Tabla 5-15: Características de los materiales caso base visual

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA	REFLECTANCIA	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA	REFLECTANCIA
Cielo opaco	OutsideFacade	30	Piso opaco	GenericFloor	20
Pared blanca	Whiteinteriorwall	70	Puerta opaca	OutsideFacade	30
Pared opaca	OutsideFacade	30	Ventana	Glazing_SinglePane	88

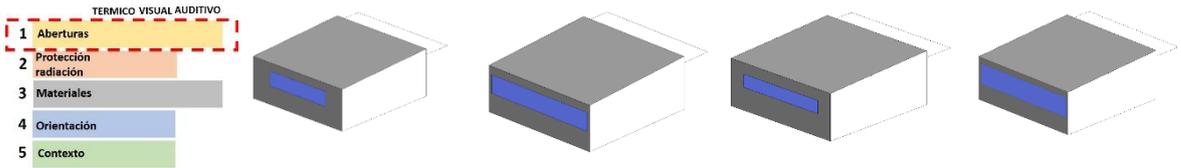
Fuente: elaboración propia

5.6.2.2. Alternativas de diseño para el confort visual

Las alternativas de diseño exploradas aplicadas al caso “base”, se derivan de las recomendaciones de la norma NTC 4595 para la comodidad visual, organizadas en cinco grupos explicados anteriormente (Figura 5-78).

El **Grupo 1**, está definido por (i) tamaños de ventanas, en relación con el área de la planta 1/5, 1/9 y 1/4. Esta última si bien no es parte de la norma, se incluye por ser la relación predominante en las aulas de colegios construidos en la ciudad bajo la NCT 4595, estudiadas a profundidad en trabajos anteriores (Montoya, San Juan, y Saavedra, 2019), (Tabla 5-16).

Tabla 5-16: Grupo 1: Dimensión de ventanas

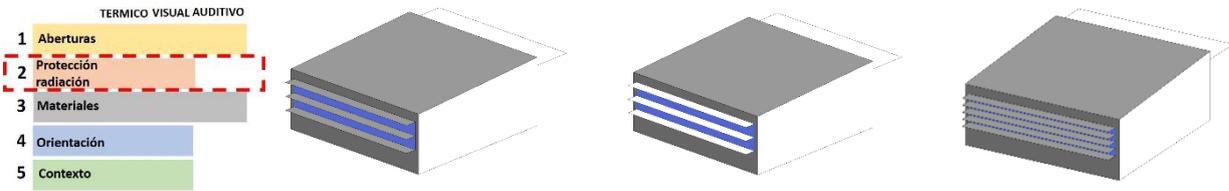


Abreviatura	1.1/6 CB	1. 1/4	1. 1/5	1.1/9
Descripción	Relación 1/6 del área del salón, caso base	Relación 1/4 del área del salón	Relación 1/5 del área del salón	Relación 1/9 del área del salón
Ventana principal	22%	38%	31%	14%
Ventana galería	22%	15%	9%	22%

Fuente: elaboración propia

El **Grupo 2** de alternativas, se refiere a los (ii) elementos de protección solar en fachada recomendados a nivel general por la norma y se aplica al caso 1/4 de ventana, ya que corresponde a un aumento del 60% con respecto al caso base (1/6), indicado por la norma NTC 4595, para conservar el nivel lumínico adecuado (Tabla 5-17 y Tabla 5-18).

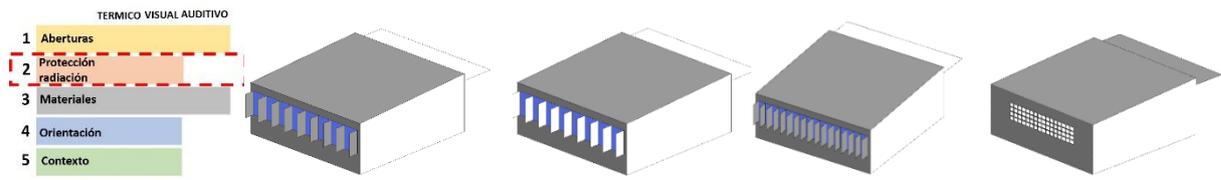
Tabla 5-17: Grupo 2-A, elementos horizontales de protección en fachada



Abreviatura	HOR	HOR BL	+HOR
Descripción	3 Elementos de protección en color gris	3 Elementos de protección en color blanco	5 elementos de protección en color gris
Dimension	Cada elemento = 7,60X0.60		
Cantidad	3	3	5

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-18: Grupo 2-B, de elementos verticales de protección en fachada



Abreviatura	VER	VER BL	+VER	CAL
Descripción	9 elementos verticales color gris	9 elementos color blanco	16 elementos verticales color gris	68 unidad de calados de color gris
Dimension	Cada elemento = 1.39X0.60			0.20 X 0.20
Cantidad	9	9	16	1,39

Fuente: elaboración propia

El **Grupo 3**, contiene las alternativas con porcentaje de reflectancia al interior, de acuerdo a los valores recomendados por norma y a los encontrados en las aulas del estudio:

- i. Cambio de color de las superficies internas, blanco con reflectancia de 70% solo en cielo, hasta el color blanco en todas las superficies.
- ii. Blanco solo en piso, para verificar la incidencia del color recomendado por norma (Tabla 5-19).

Tabla 5-19: Grupo 3. Reflectancia de materiales al interior

Abreviatura	1/6 CB	CIELO	PAREDES	PISO
Descripción	Ventana en relación 1/6. 2 paredes grises y 2 blancas	Cielo blanco y paredes grises blancas.	Todas las superficies grises	Piso y 2 paredes blancas. Piso y 2 paredes grises
PARED TABLERO Y OPUESTA	Blanco (70%)	Blanco (70%)		Blanco (70%)
PARED VENTANA Y GALERIA		Gris (30 %)		Gris (30 %)
CIELORRASO	Gris (30 %)	Blanco (70%)	Gris (30 %)	
PISO		Gris (30 %)		Blanco (70%)

Fuente: elaboración propia

Al **Grupo 4**, se le aplican (v) diferentes orientaciones: hacia el sur este y sur oeste, con el objetivo de analizar una mayor exposición de la fachada principal, como se presenta en la Tabla 5-20.

Tabla 5-20: Grupo 4. Alternativas de orientación

Abreviatura	SE 1	SO 1	SE2	SO2
Descripción	SURESTE	SUROESTE	SURESTE	SUROESTE
Angulo (%)	45%	45%	67.5 %	67.5 %

Fuente: elaboración propia

En el **Grupo 5**, se exploran diferentes situaciones para las (v) condiciones exteriores, son como patio descubierto, patio cubierto y árbol como elementos de obstrucción del exterior inmediato, sobre la fachada, así (Tabla 5-21)

Tabla 5-21: Grupo 5. Condiciones exteriores

TERMICO VISUAL AUDITIVO				
1	Aberturas			
2	Protección radiación			
3	Materiales			
4	Orientación			
5	Contexto			
Abreviatura		PATIOS	EDIFICIO	ARBOL
Descripción		Patio con la distancia = altura volumen	Galería cubierta entre dos bloques	Arbol como elemento de obstrucción
Especificaciones		Patio de 8 X 8 m	Distancia entre edificios de 4 m con una cubierta en cielo opaco (30% reflectancia)	Árbol de 6 m alto, 3 m Ø, y 3 m distancia a fachada

Fuente: elaboración propia

5.6.3. Simulación auditiva

La simulación se realiza en el software de simulación acústica EASE (del inglés Enhanced Acoustic simulator for engineers) versión 4.3, desarrollado por la firma Alemana AFMG, el cual permite la simulación acústica de recintos, para el caso del diseño de espacios nuevos, como en la verificación de las condiciones de los existentes. El software permite el modelado de manera sencilla y la selección de materiales de una extensa base de datos. En el presente estudio, la simulación en EASE permite identificar el desempeño acústico de las alternativas de diseño, específicamente el tiempo de reverberación.

El detalle de los resultados de la simulación auditiva se presenta en el Anexo 17. Las condiciones del caso base se presentan a continuación.

5.6.3.1. Caso “base” auditivo

El caso base es el aula típica de 8 X 8, con la ventana acorde con el caso base de relación 1/6 del área de la planta (Figura 5-83), y porcentajes de materiales al interior (Tabla 5-22).

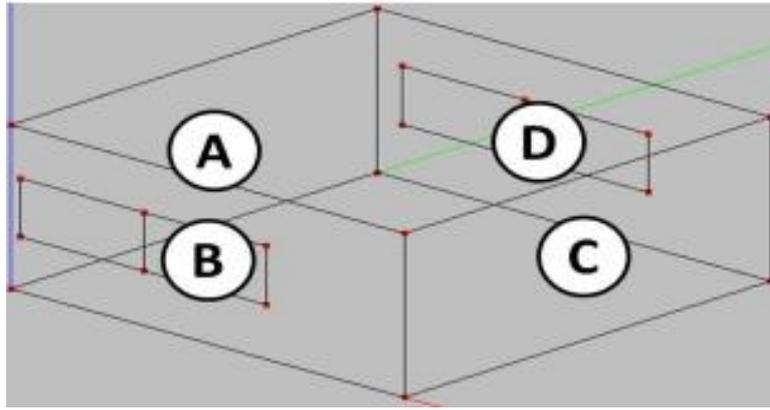


Figura 5-83: modelo del caso base para la simulación auditiva en EASE. Fuente: elaboración propia

Tabla 5-22: características del caso base auditivo

Componente	Material	Área (m ²)	Componente	Material	Área (m ²)
Cielo	Concreto Visto	64	Pared B	Vidrio	2.7
Piso	Concreto visto	64		Aire	2.7
				Muro	18.7
Paredes A-C	Bloque visto	48	Pared D	Vidrio	2.7
				Aire	2.7
				Muro	18.6

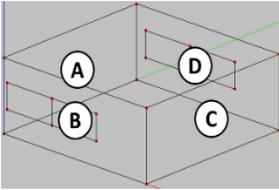
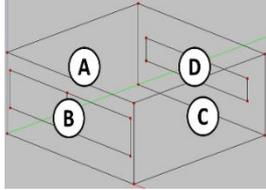
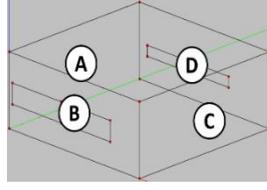
Fuente: elaboración propia

5.6.3.2. Alternativas de diseño para el confort auditivo

Las estrategias aplicadas al modelo auditivo, corresponden al Grupo 1: dimensiones de las ventanas y al Grupo 3: materiales al interior, en ambos casos con las variaciones de las ventanas abiertas y cerradas.

El **Grupo 1** consta de las diferentes dimensiones de ventanas en la relación con el área de la planta consideradas por la norma, así: 1/6, 1/5 y 1/9, como se muestra en la Tabla 5-23.

Tabla 5-23: Grupo 1. Dimensión de ventanas

		TERMICO VISUAL AUDITIVO				
		1	2	3		
		Aberturas	Protección radiación	Materiales		
		4	5			
		Orientación	Contexto			
						
VENTANA	LUGAR	MATERIAL	MODELO 1/6 AREA (m ²)	MODELO ¼ AREA (m ²)	MODELO 1/9 AREA (m ²)	
ABIERTA	Cielo		64.0	64	64	
	Piso	Concreto	64.0	64	64	
	Pared A-C	rugoso	48.0	48	48	
	Pared B	Vidrio		2.0	3.0	1.3
		Aire		2.0	3.0	1.3
		Bloque concreto		20.0	18.0	21.4
	Pared D	Vidrio		2.0	3.0	1.3
		Aire		2.0	3.0	1.3
Bloque concreto			20.0	18	21.4	
CERRADA	Pared B	Vidrio	4.0	6.0	2.6	
		Bloque concreto	20.0	18.0	21.4	
	Pared D	Vidrio	4.0	6.0	2.6	
		Bloque concreto	20.0	18	21.4	

Fuente: elaboración propia

Las demás alternativas de diseño de la **No. 2** a la **No. 4** corresponden a materiales con tratamiento acústico en las paredes de acuerdo a las recomendaciones de la Norma: 2) Muros no enfrentados a la fachada-alfombra; 3. Muros enfrentados a la fachada-alfombra; 4. Altura medio muro-Alfombra. Las alternativas exploradas de la **No. 5** a la **No. 6** corresponden a las condiciones no exploradas en la norma: 5) Piso alfombra y 6) Cielorraso en material absorbente. Y de la **No. 7** a la **No.10** representan las situaciones más comunes encontradas en las aulas del estudio: 7) Muros no enfrentados a la fachada concreto rugoso; 8) Suelo en baldosa o Liso; 9) Cielo en Acabado metálico (Steel Deck) y 10) Cielo en acabado panel yeso.

Las alternativas **No. 2** y **No. 3** presentan el mismo tipo de material, en los muros **NO** enfrentados a la fachada con alfombra total y en los muros enfrentados a la fachada con alfombra total. (Tabla 5-24).

Tabla 5-24: Grupo 3, No. 2 y No.3: Materiales con propiedades absorbentes

TERMICO VISUAL AUDITIVO				
1	Aberturas			
2	Protección radiación			
3	Materiales			
4	Orientación			
5	Contexto			
No. 2:	Muros NO enfrentados a la fachada con alfombra total. Paredes A-C			
No. 3:	Muros enfrentados a la fachada con alfombra total. Paredes B-D	Alfombra	48	

Fuente: elaboración propia

En la alternativa **No. 4**, se presenta la variación con material absorbente en la parte superior de los muros, desde 2m del suelo hasta el techo, de acuerdo a la recomendación de la norma (ICONTEC, 2015). (Ver Tabla 5-25):

Tabla 5-25: Grupo 3, No. 4. Material absorbente en muros a 1/2 altura No enfrentados a ventanas

TERMICO VISUAL AUDITIVO				
1	Aberturas			
2	Protección radiación			
3	Materiales			
4	Orientación			
5	Contexto			
No. 4:	Muros no enfrentados a la fachada con alfombra a media altura. Paredes A-C	Bloque concreto pintado + Alfombra	24	

Fuente: elaboración propia

Las alternativas con material absorbente en piso y cielorraso con contempladas por la norma y, se presentan en los siguientes grupos. El **No. 5**, presenta alfombra en el piso como se presenta en la Tabla 5-26.

Tabla 5-26: Grupo 3, No. 5, Material absorbente en piso

TERMICO VISUAL AUDITIVO				
1	Aberturas			
2	Protección radiación			
3	Materiales			
4	Orientación			
5	Contexto			
	MATERIALES	MODELO 1/6	MODELO 1/4	MODELO 1/9
		AREA (m²)	AREA (m²)	AREA (m²)
No. 5:	Material absorbente en piso	Alfombra	64	

Fuente: elaboración propia

En el No. 6, se presentan la alternativa de material absorbente en el cielo, en los tres tamaños de las ventanas como se muestra en la Tabla 5-27.

Tabla 5-27: No. 6, Material absorbente en cielorraso

TERMICO VISUAL AUDITIVO				
1	Aberturas			
2	Protección radiación			
3	Materiales			
4	Orientación			
5	Contexto			
	MATERIALES	MODELO 1/6	MODELO ¼	MODELO 1/9
		AREA (m²)	AREA (m²)	AREA (m²)
No. 6:	Material absorbente en cielorraso	Alfombra	64	

Fuente: elaboración propia

El resto de alternativas exploradas presentan variaciones al interior de los modelos con diferentes tamaños de aberturas, sin ningún tipo de acondicionamiento acústico, con algunos de los acabados más comunes en las aulas estudiadas, las dimensiones son las mismas de los elementos descritos en las tablas anteriores, por lo que se presentan a manera de listado a continuación:

- Alternativa **No. 7:** Bloque en concreto rugoso en muros No enfrentados a la ventana
- Alternativa **No 8:** Piso/suelo en baldosa o Liso
- Alternativa **No. 9:** Cielorraso en Acabado metálico (Steel Deck)
- Alternativa **No. 10:** Cielorraso en acabado panel yeso.

PARTE 4:

RESULTADOS

**Sobre la situación observada, registrada y
percibida**

CAPITULO 6

6. ANALISIS DE LA AUDITORIA AMBIENTAL DE PERCEPCION DEL USUARIO

La Auditoría Ambiental de Percepción del Usuario-AAPU, es la primera parte para la presentación de los resultados, desde los componentes objetivo y subjetivo. De manera posterior, se presenta el análisis sobre el tema de confort en la norma NTC 4595 (Capitulo 7) y sobre cómo esta norma es abordada en el proceso de diseño por arquitectos diseñadores de los colegios en Cali y en Colombia (Capitulo 8).

El análisis de la auditoria se realiza desde los tres grandes componentes térmico, visual y auditivo. En el primer componente, el térmico, se presentan los resultados de la auditoria objetiva a partir de las mediciones continuas durante los dos periodos del estudio. De manera posterior, se analizan las respuestas de los estudiantes -auditoria subjetiva – en relación con las mediciones.

Para el segundo y tercer componente, visual y auditivo, se analizan los resultados de las mediciones realizadas en simultáneo con la encuesta, para luego contrastar dichos resultados con la percepción de los estudiantes.

6.1. Auditoría objetiva para el confort térmico

A continuación, se realiza el análisis de las condiciones térmicas de las aulas estudiadas, en función de la información recabada en la auditoría objetiva y subjetiva bajo las siguientes escalas de análisis:

- Período de medición mensual, en dos periodos del año: Seco (agosto) y lluvioso (marzo). Bajo las temperaturas, ambiente promedio y el modelo “Adaptativo”.
- Días típicos de cada período analizado, a partir de los datos de temperatura ambiente y humedad relativa bajo el modelo Adaptativo y el rango de confort de la norma.

6.1.1. Análisis mensual: medición periodo SECO

Los parámetros climáticos medidos al exterior en cada uno de los colegios durante el mes de agosto, arrojaron una T_a promedio entre 25.4°C y 26.3°C, con máximas entre los 31.7°C y 40.4°C y mínimas entre 18°C y 22°C, presentando valores más elevados que los indicados hace más de 50 años por Olgyay (1963). En cuanto a la humedad relativa, los valores resultan similares a la del estudio referenciado. El promedio estuvo entre 61.7 % y 67 %, con máximas que alcanzaron los 93% y mínimas de 28% como se presenta en la Tabla 6-1:

Tabla 6-1. Temperatura y humedad relativa exterior en el periodo seco

Parámetro	Medidas	Isaías Duarte	Nelson Garcés	Nuevo Latir	Juana de Caicedo
Temperatura Exterior (°C)	Máxima	40.4	37.1	31.7	37.0
	Promedio	25.6	26.4	26.2	26.3
	Mínima	18.0	20.6	22.1	21.6
Humedad Relativa Exterior (%)	Máxima	93.0	88.7	86.6	84.3
	Promedio	67.0	63.6	64.2	61.7
	Mínima	28.2	31.3	24.1	31.9

Fuente: Elaboración propia

Las T_a promedio de todos los colegios es 26.2°C y al aplicar la ecuación ($T_{acep} = 0.31 * 26.2°C + 17.8 \pm 3.5°C$) propuesta por el modelo Adaptativo, explicada en la metodología (ver ecuación 6, en el tema 5.5.1 Confort), arroja un rango de 22.4°C y 29.4 °C

para un 80% de aceptabilidad. Bajo la hipótesis de este modelo, aproximadamente el 70% de las horas del día se encuentran dentro del rango de confort, particularmente las horas de la mañana, la noche y la madrugada.

Las horas en disconfort están concentradas desde el mediodía hasta final de la tarde. Por otro lado, también se observa en la figura que la temperatura del aire interior de algunas de las aulas sobrepasa la temperatura ambiente exterior, sobre todo las aulas localizadas en el segundo piso, las cuales cuentan con cubierta expuesta a la radiación solar incidente (Figura 6-1).

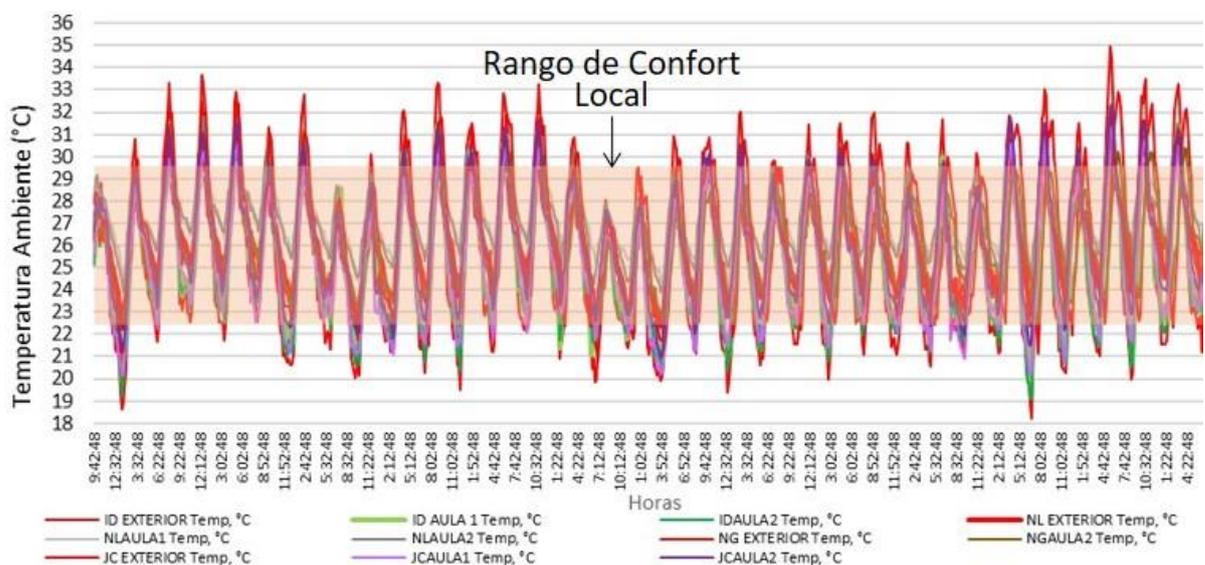


Figura 6-1: Medición de Temperatura (°C) durante un mes: Período SECO (Agosto).
 Franja naranja rango de confort local
 Fuente: elaboración propia

En cuanto a la humedad relativa exterior (%), la totalidad de los días sobrepasa los valores que propone la Norma NTC 5316, correspondiente al 60% (Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), (2004)). Durante el período de medición las máximas adquieren un rango entre 84% y 93% con un promedio de 64 % cercano al valor recomendado por norma y a la afirmación de algunos autores (Cengel y Boles, 2009). Las estadísticas del IDEAM, exponen un promedio anual para la ciudad de Cali, de 72,2% y específicamente para el mes de agosto de 64%. De forma lógica, las HR interiores de las aulas son menores a la exterior, pero por encima del 60%.

El porcentaje de horas dentro de este rango es del 24%, entre las 11 a.m. y 7 p.m.; mientras el 76% se encuentra por fuera del rango, especialmente a partir de las 8 p.m., hasta la madrugada y primeras horas de la mañana. Esto implica por un lado (i) que el período de medición fue más húmedo que las series estadísticas, y (ii) que el valor del 60% que propone la norma, al ser general para toda Colombia, no se adecúa a las condiciones de Cali (Figura 6-2). Tanto la NTC 5316, como la ASHRAE, especifican condiciones de T_o en relación con la humedad relativa entre 50% y 60%. El parámetro de T_o no permite hacer análisis con la T_a medida durante el mes.

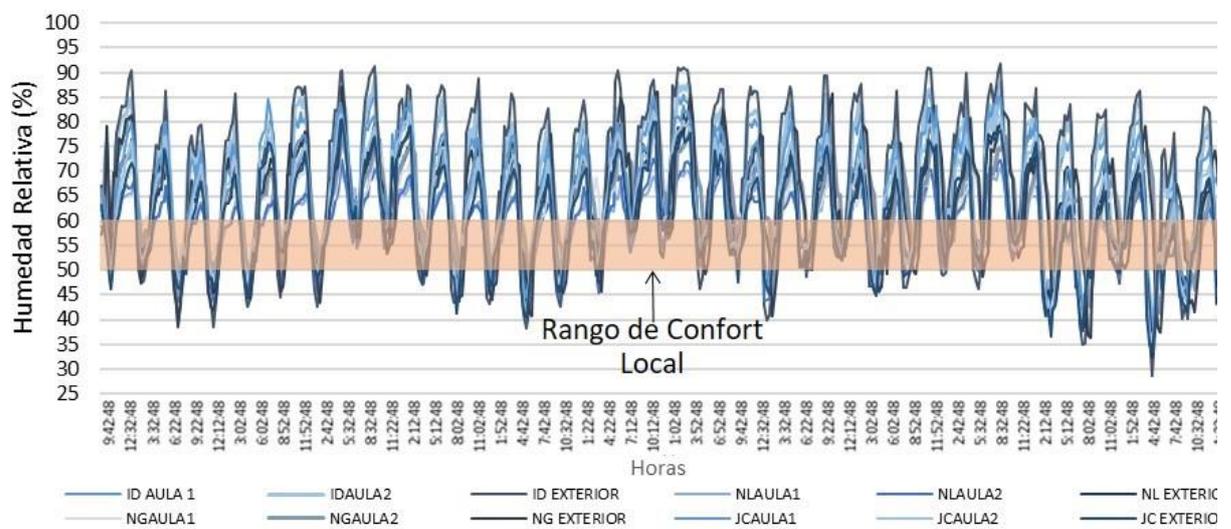


Figura 6-2: Medición de Humedad relativa (%HR) durante un mes: Período SECO (Agosto).
 Franja naranja rango de confort local
 Fuente: elaboración propia

6.1.2. Análisis mensual: medición periodo LLUVIOSO

Los parámetros climáticos medidos al exterior en cada uno de los colegios durante el mes de marzo arrojaron unas T_a promedio que se registraron entre 24°C y 25°C, las máximas entre los 30°C y 32°C, y las mínimas entre 19°C y 21°C. La humedad relativa presentó valores promedios entre 71% y 76%, más elevados en comparación con el mes seco, al igual que las mínimas entre 40% y 46%, mientras las altas se comportaron de manera similar al mes seco con valores entre 86% y 95.8%, con valores cercanos a estudios previos (Olgay, 1963), (Tabla 6-2):

Tabla 6-2: Temperatura y humedad relativa exterior en el periodo lluvioso

Parámetro	Medidas	Isaías Duarte	Nelson Garcés	Nuevo Latir	Juana de Caicedo
Temperatura Exterior (°C)	Máxima	32.5	31.6	31.0	30.1
	Promedio	24.1	24.7	25.0	24.7
	Mínima	19.5	20.3	21.3	20.7
Humedad Relativa Exterior (%)	Máxima	95.8	93.0	87.6	86.8
	Promedio	76.6	73.6	71.2	71.3
	Mínima	40.2	41.8	42.7	45.7

Fuente: elaboración propia

La T_a promedio de todos los colegios es 24.6°C y al aplicar la ecuación ($T_{acep} = 0.31 * 26.2^{\circ}\text{C} + 17.8 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$) propuesta por el modelo Adaptativo, explicada en la metodología (ver ecuación 6, en el tema 5.5.1 de Confort), arroja un rango de 22°C y 29°C para un 80% de aceptabilidad bajo el modelo Adaptativo. Bajo la hipótesis de este modelo, aproximadamente el 88% de las horas del día se encuentran dentro del rango de confort, particularmente las horas de la mañana, la noche y madrugada y las horas en desconfort están concentradas desde el mediodía hasta final de la tarde. Por otro lado, también se observa en la Figura 6-3 que la temperatura del aire interior de las aulas nunca sobrepasa la temperatura exterior, salvo en el caso del Colegio Nuevo Latir (en color gris), el cual corresponde a espacios de aula que cuentan con grandes aventanamientos vidriados, con ventilación natural practicable (restringida desde el punto de vista del uso), lo que mantiene el contenido de humedad interior y la temperatura del aire por encima de los valores exteriores (Figura 6-3).

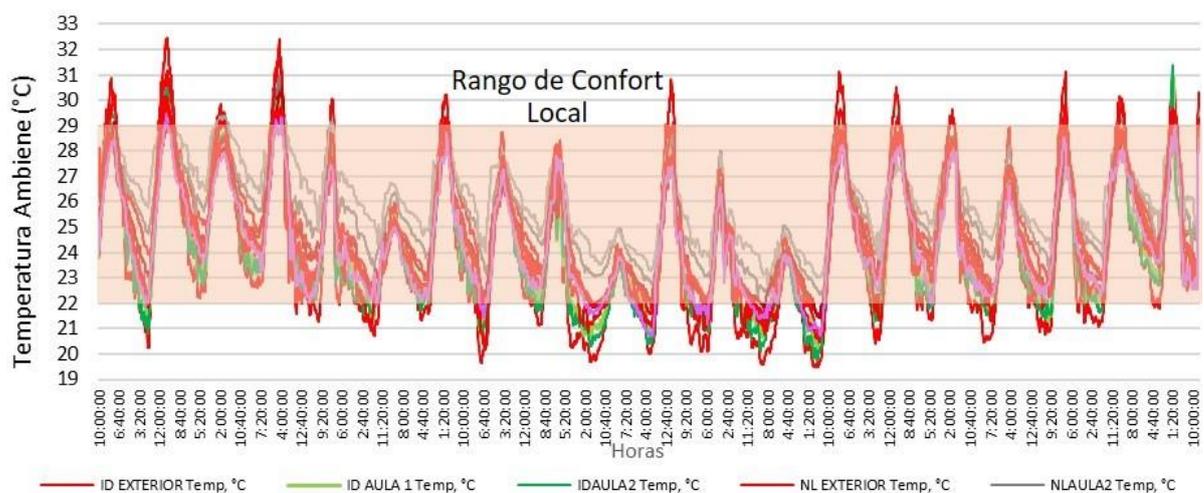


Figura 6-3: Medición de Temperatura (°C) durante un mes: Período LLUVIOSO (Marzo).

Franja naranja rango de confort local

Fuente: elaboración propia

En marzo, el mes con mayores lluvias, la situación medida es levemente mayor con respecto a la registrada en el mes seco-agosto, con 88% del tiempo por fuera del 60% indicado por la norma NTC y solo con un 12% con valores cercanos al recomendado, los cuales se presentan en el momento de las temperaturas más altas, entre la 1 p.m. y las 4 p.m, lapso de tiempo dentro de la jornada escolar.

La gráfica muestra la evolución de la HR, durante el período de medición tanto del ambiente exterior como de las aulas analizadas en función del 60% que propone la Norma, registrándose valores máximos entre 83% y 95%, con un promedio de 73.5%. Esto implica una distancia entre lo propuesto por la normativa y la situación real (Figura 6-4).

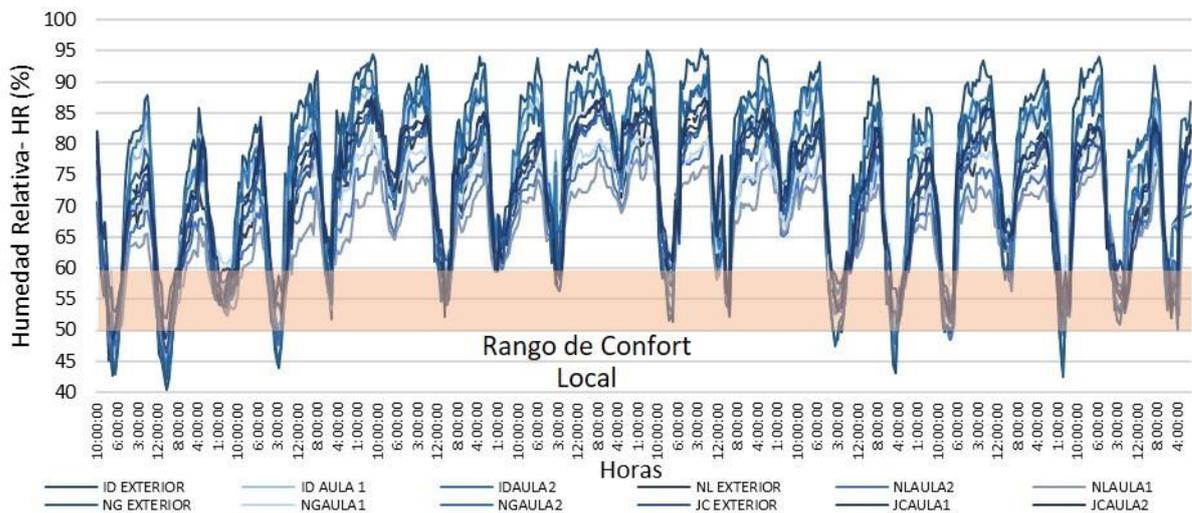


Figura 6-4: Medición de humedad relativa (°C) durante un mes: Período LLUVIOSO (Marzo).
 Línea celeste oscuro: Humedad Relativa Exterior, franja naranja rango de confort local

Fuente: elaboración propia.

Bajando la escala de análisis a los días de medición con comportamiento típico, en el mes de marzo se seleccionan el día 7 y el día 10, como se presenta en la Figura 6-5:

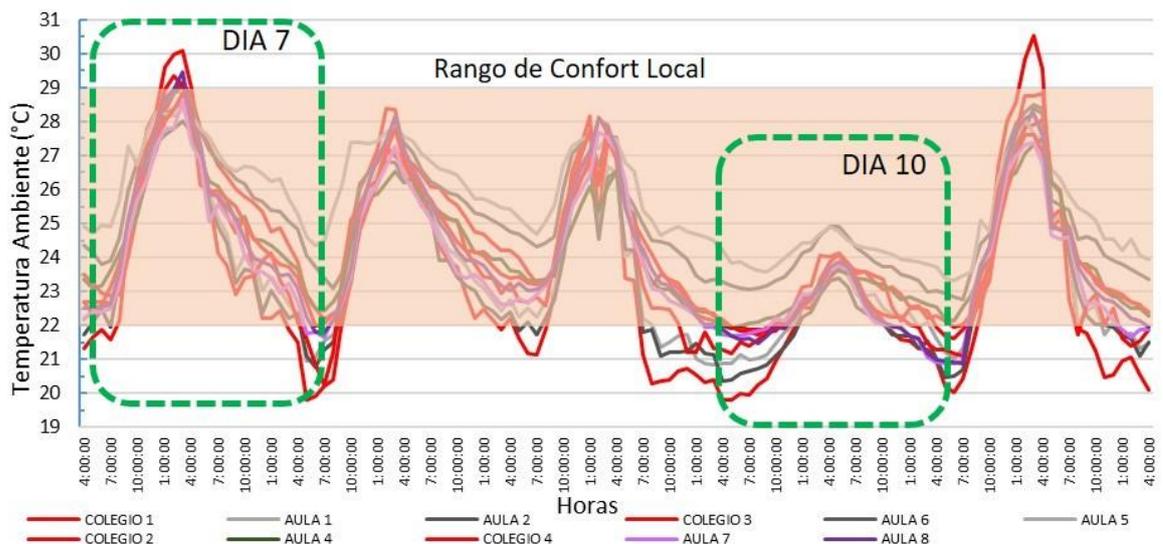


Figura 6-5: Medición de Temperatura (°C), días tipo seleccionados. Período HUMEDO (marzo). Línea roja: Temperatura Exterior.

COLEGIO 1: Isaías Duarte; COLEGIO 2: Nelson Garcés; COLEGIO 3: Nuevo Latir; COLEGIO 4: Juana de Caicedo.

Fuente: elaboración propia

Si tomamos los datos meteorológicos medios del IDEAM para el mes de marzo, los valores coinciden con el día de medición 7, visualizándose además días atípicos con cielo nublado y posibles precipitaciones, adoptándose para el análisis el día 10 (Tabla 6-3).

Tabla 6-3: Días típico y atípico del mes de marzo

Fuente	Día	Temp. Max. Media (°C)	Temp. Media (°C)	Temp. Min. Media (°C)	Humedad Relativa Media (%)
IDEAM	Promedio mes	30.2	25.0	19.7	72.3
Medición	Día 7	30.2	25.0	19.7	72%
Medición	Día 10	24.3	22.2	20.0	84%

Fuente: elaboración propia

En cuanto al comportamiento de los días típicos frente al rango de confort propuesto por el modelo Adaptativo, se puede observar en la Figura 6-6, que el día 7, cercano al comportamiento promedio indicado por el IDEAM, al medio día y hasta las 4 p.m. las Ta llegan al límite superior del rango de confort; para el mes de marzo entre 22°C y 29°C, mientras que en el día 10 con temperaturas más bajas, las temperaturas en la mañana quedan por debajo del rango y a partir del mediodía quedan en confort durante toda la jornada escolar (Figura 6-7).

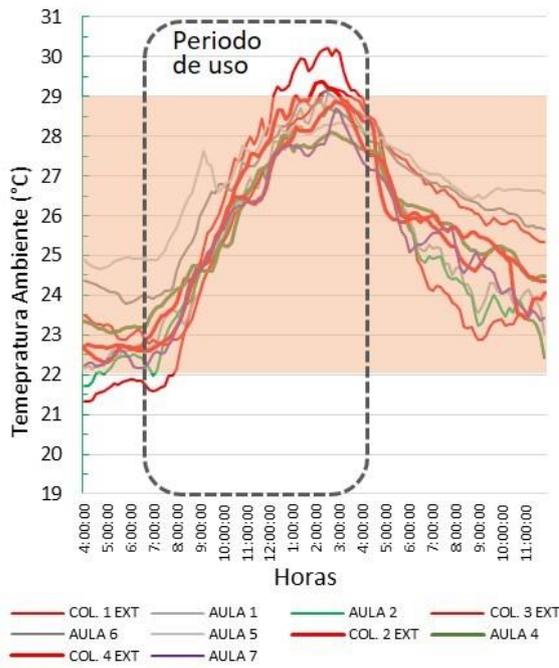


Figura 6-6: Registro de Temperatura. Día 7

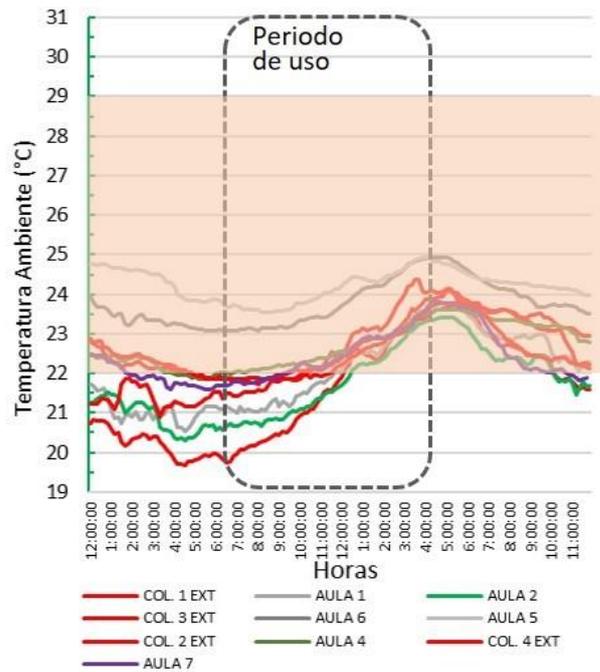


Figura 6-7: Registro de Temperatura. Día 10

Cuadro naranja: Rango de Confort. Cuadro gris: período de uso.

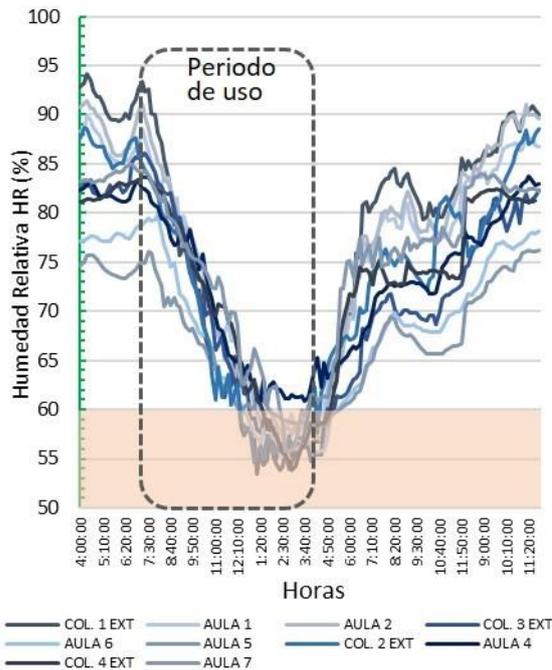


Figura 6-8: Registro de Humedad Relativa. Día 7

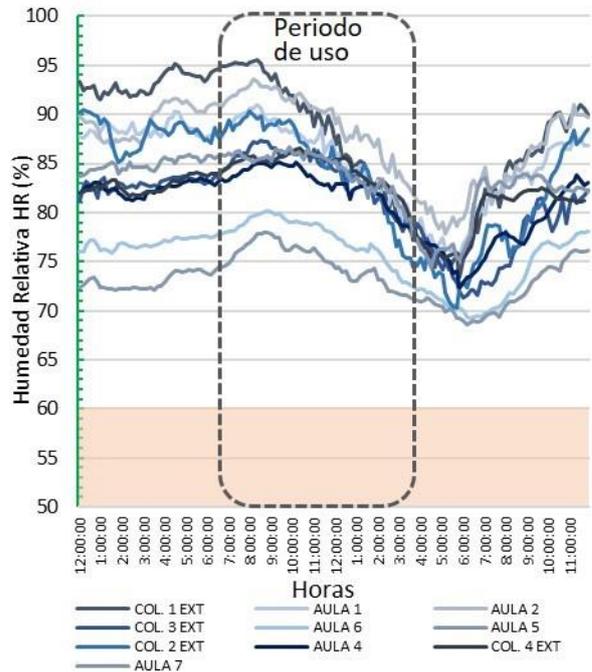


Figura 6-9: Registro de Humedad Relativa. Día 10

Cuadro naranja: Rango de Confort. Cuadro gris: período de uso.

Fuente: elaboración propia

Para el día 7, las temperaturas exteriores de las 4 aulas quedan dentro del rango admisible de 22°C y 29°C (salvo en uno de los colegios –COL 1: Isaías Duarte) y el nivel interior de las aulas sigue esa evolución. Los edificios analizados corresponden a una tecnología catalogada como pesada (muros en bloque de concreto o ladrillo), con ventilación durante el período diurno y nocturno (excepto en el COL 3: Nuevo Latir). La mayor incidencia de las condiciones exteriores se registra en las aulas del segundo piso, con su cubierta expuesta y entrada de aire por ventilación continua cálida. En el caso de la humedad relativa, en el día 7, sólo a partir del mediodía, los valores se registran entre el 50% y 60%, recomendados (Figura 6-8).

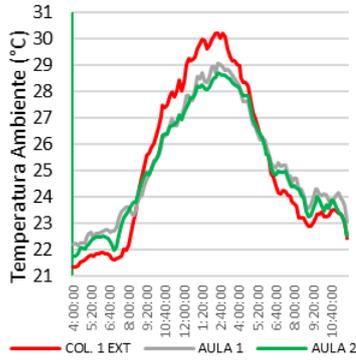
Para el día 10, en situación de día nublado, las temperaturas exteriores e interiores en los 4 casos analizados, se encuentran por debajo del rango de confort hasta el mediodía y luego quedan dentro de los valores, con máxima humedad relativa (Figura 6-9). En este día, se observa la situación de las aulas 5 y 6 con ventanas vidriadas (COL 3: Nuevo Latir) que registran alto contenido de HR y temperatura interior, por encima del resto de aulas.

6.1.3. Análisis de la envolvente arquitectónica

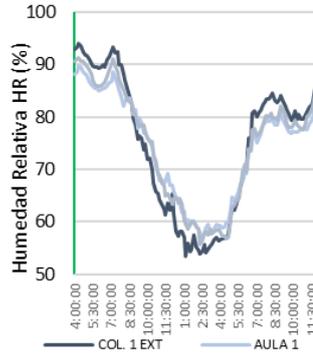
Haciendo el análisis a partir del comportamiento de la envolvente arquitectónica y su incidencia en el confort térmico (H.-H. Liang, Lin, & Hwang, 2012), se puede observar cómo el comportamiento de las aulas 1 (planta baja) y 2 (planta alta) del colegio 1, presentan un comportamiento térmico similar, a pesar de la situación diferenciada (Tabla 6-4). En la madrugada las temperaturas al interior no bajan al nivel de la temperatura exterior y durante el día, logran estar 1 °C por debajo de la temperatura exterior, situación derivada del uso del bloque de cerámico y la ventilación cruzada permanente a través de persianas. Sin embargo, como se observa en la humedad relativa de las aulas es superior a la exterior, lo que indica que no se alcanza a extraer toda la humedad al interior de las aulas a pesar de la ventilación cruzada permanente derivada de la fachada con persianas. No se debe pasar por alto, la localización del colegio en zona de humedales, lo que seguramente eleva el nivel de vapor de agua en el ambiente.

Tabla 6-4: Comportamiento día típico en colegios y aulas mes de marzo

Temperaturas exterior colegio e interior aulas



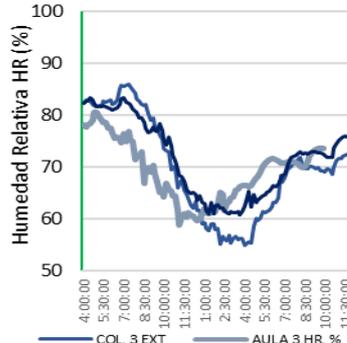
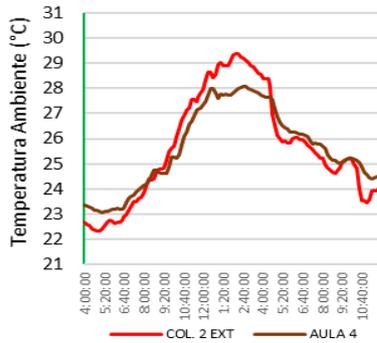
Humedad relativa exterior colegio e interior aulas



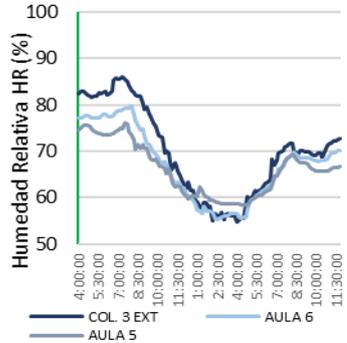
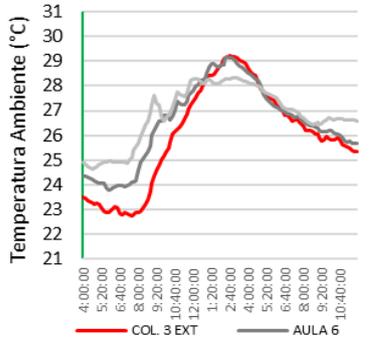
Fachada expuesta bloque de aulas



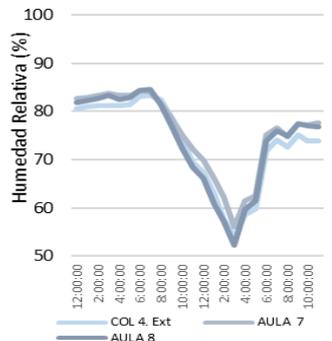
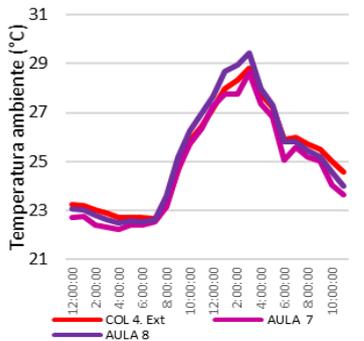
Aulas 1 y 2, Colegio 1: Isaias Duarte Cancino-IDC



Aulas 3 y 4, Colegio 2: Nelson Garcés Vernaza-NGV



Aulas 5 y 6, Colegio 3: Nuevo Latir-NL



Aulas 7, 8 y 9, Colegio 4: Juana de Caicedo y Cuero-JCC

Fuente: elaboración propia

De manera similar, el aula 4 del colegio 2 presenta temperaturas por debajo de las exteriores hacia el mediodía, mostrando la efectividad de la doble fachada (Tabla 6-4) como estrategia de sombra para el mejoramiento del desempeño térmico (Subhashini & Thirumaran, 2018). La humedad relativa logra permanecer por debajo de la exterior la que alcanza 85% HR. Las ventanas en la fachada principal y calados hacia la galería, permiten que la humedad relativa se mantenga por debajo hasta el mediodía (Tabla 6-4).

El único caso en donde las temperaturas interiores de las aulas 5 y 6 sobrepasan a las exteriores la mayor parte del tiempo, corresponde el colegio 3, con grandes áreas vidriadas y ventilación controlada, solo durante la jornada escolar y por una sola de sus fachadas. La humedad relativa es más baja que la exterior (Tabla 6-4). El último de los casos presentado, las aulas del colegio 4, se mantienen cerca a la temperatura exterior, encontrándose por debajo en horas de la madrugada. Llama la atención en este caso que, con aberturas sin vidrio en las dos fachadas, la humedad relativa permanezca por encima de la exterior. La situación anterior, con ventilación cruzada de manera permanente, no logra barrer el calor acumulado, ni la humedad relativa Tabla 6-4.

6.2. Auditoria objetiva + subjetiva.

Día de la encuesta

Para presentar los resultados de la auditoria subjetiva en relación a las mediciones se muestran los votos de sensación térmica (VST) expresados por los estudiantes de los colegios durante los dos periodos de medición. De manera posterior se analizan los resultados de la temperatura operativa y finalmente se hace el análisis bajo los dos modelos teóricos para la predicción del confort térmico.

6.2.1. Votos de sensación térmica

Los resultados de las mediciones en los salones se muestran en la Tabla 6-5, en dos grupos acorde con el periodo lluvioso y el seco.

Tabla 6-5: Datos medición, Tmr, To, media de VST y detalle de votos

Aula	DIA/MES	Ta. ext.°C	Ta. int.°C	HR ext%	HR int%	Tmr °C	To °C	Media VST	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
PERIODO LLUVIOSO																
1	22 Marzo	27.8	26.7	63.0	67.7	26.1	26.4	0.17	0	9	0	8	3	10	0	30
2	22 Marzo	29.8	28.6	55.5	61.0	28.3	28.4	1.29	0	3	4	3	5	8	11	34
3	17 Marzo	26.4	27.3	63.1	66.1	24.3	25.8	-0.03	1	8	7	8	6	5	3	38
4	17 Marzo	27.3	27.0	56.7	60.3	26.9	27.0	-0.25	1	11	3	8	9	2	2	36
5	6 Abril	29.9	29.8	57.2	53.9	29.5	29.6	1.14	0	4	3	0	13	7	8	35
6	6 Abril	31.0	30.6	58.3	55.4	30.2	30.4	0.76	0	5	2	4	16	8	3	38
7	31 Marzo	22.3	23.4	87.8	83.9	22.4	22.9	-2.33	16	11	1	1	1	0	0	30
8	31 Marzo	22.8	23.2	85.9	83.2	23.2	23.2	-1.81	12	14	2	7	1	0	0	36
Total Periodo Lluvioso									30	65	22	39	54	40	27	277
Total (%)									11	23	8	14.	19	15	10	100
PERIODO SECO																
									-3	-2	-1	0	1	2	3	
1	6 Sept	29.4	27.3	58.5	64.3	25.8	26.6	-0.42	1	5	4	7	7	0	0	24
2	6 Sept	27.3	26.4	63.5	68.8	25.5	26.1	-0.71	1	12	5	9	6	1	0	34
3	1 Sept	28.4	28.9	49.5	55.4	24.5	26.7	-0.20	1	10	3	5	5	3	3	30
4	1 Sept	28.2	26.9	49.3	53.3	24.3	25.6	0.07	0	9	5	12	8	6	2	42
5	31 Agosto	26.5	27.4	60.0	57.4	26.2	26.8	-0.55	1	11	4	5	4	3	1	29
6	31 Agosto	26.9	28.9	57.7	53.9	27.8	28.4	-0.53	1	12	1	10	6	1	1	32
7	30 Agosto	25.6	25.2	67.3	69.4	23.4	24.3	0.35	0	6	4	9	14	5	2	40
9	30 Agosto	26.2	26.9	64.5	62.8	26.1	26.5	0.00	1	6	2	6	7	5	0	27
Total Periodo Seco									6	71	28	63	57	24	9	258
Total (%)									2	27	11	24	22	10	4	100
TOTAL PERIODO DE LLUVIAS+SECO									36	136	50	102	111	64	36	535

En color azul: votos en discomfort por frio. En rojo: en discomfort por calor. En color negro: en confort.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 6-5 se indican las fechas, temperaturas y HR exterior e interior, temperatura media radiante, temperatura operativa, la media ponderada de VST y los votos (en cada escala de sensación térmica) totalizados en la columna final por salón y totalizados por escala en la fila inferior.

La velocidad del viento resultó imperceptible en horas de la mañana, lo que deja al espacio sin el beneficio de este importante elemento que otorga bienestar térmico (Silver & McLean, 2008). Para efectos conservativos se asume 0.2 m/s en todos los salones (ANSI/ ASHRAE, 2010). De las 16 aulas analizadas, 263 alumnos (49%) manifestaron estar alrededor del estado neutral o de confort entre +1 y -1. Por otro lado, 272 (51%) no estaban confortables, de los cuales por situación de frío: 172 (32%), y 100 (18%) por calor.

Como se puede observar en la Tabla 6-5 presentada anteriormente, durante la temporada de lluvia llama la atención que los últimos dos salones (7 y 8) presentan temperatura exterior particularmente fría, impactando fuertemente los resultados estadísticos como se presenta en la Figura 6-10. Esto es atípico en la ciudad de Cali, lo cual puede indicar que la escala de sensación térmica empleada por la norma ASHRAE, no logra reflejar en detalle el estado térmico de los niños de las aulas del estudio. Como se puede ver, no es posible una conclusión clara sobre si hay o no confort, o si prevalece la sensación de frío o de calor.

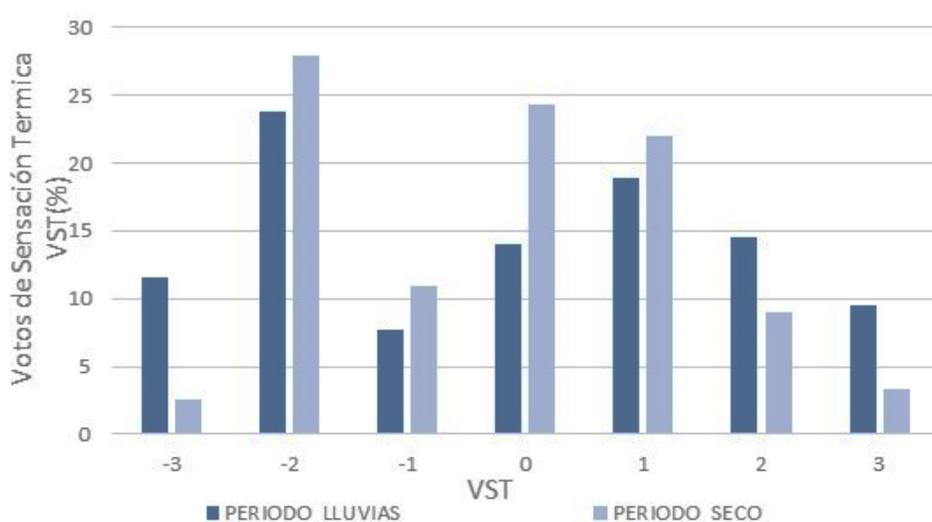


Figura 6-10: Total Porcentajes de votos de Sensación térmica.

Fuente elaboración propia

En cuanto a la opinión de los estudiantes, frente a la pregunta ¿La ventilación del salón le genera molestia?, el 88,4% de las respuestas manifestaron que no, en forma similar en las aulas en los dos períodos. Cuando se les preguntó: ¿Se siente en su puesto de trabajo el aire?, la respuesta fue positiva en un 72.6%, a pesar del bajo valor registrado. Por ende, se concluye que la posibilidad de ventilar naturalmente el aula, no es una condición de molestia o discomfort, siendo ésta una de las pautas de acondicionamiento en el clima, tratado siempre y cuando la temperatura del aire beneficie el interior (Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, & Szokolay, 1977) (Figura 6-11 y Figura 6-12).

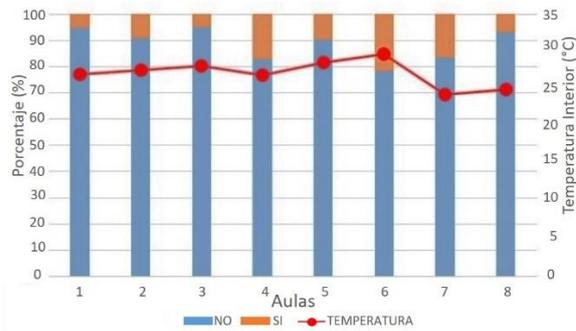


Figura 6-11: la ventilación del salón genera molestias?

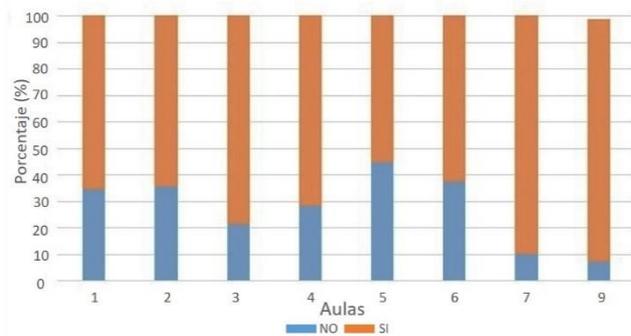


Figura 6-12: en tu puesto se siente el aire?

Fuente elaboración propia

Consecuentemente con el tratamiento de la envolvente en el colegio 4 (Figura 6-24), queda en evidencia que el aventanamiento en las dos fachadas del aula sin vidrio (7 y 8 de JCC), incide en la percepción del movimiento de aire, mientras en las aulas con ventilación restringida (aula 5 y 6 de NL) la percepción del aire es menor.

6.2.2. Temperatura Media Radiante y Temperatura Operativa

Al analizar el comportamiento de la T_{mr} de las aulas en relación con la temperatura exterior y los votos, se puede observar en la Tabla 6-6, que las aulas 1 y 2 del colegio Isaías (Figura 6-13 y Figura 6-14) y las aulas 3 y 4 del colegio 2 (Figura 6-16 y Figura 6-17), logran disminuir al interior en 1°C y 2°C la T_{mr} en relación con la $T_{a\ ext}$.

Sin embargo, esto no es así en las aulas de los colegios Nuevo Latir y Juana, en donde las temperaturas al interior están casi igual que las del exterior, lo que es crítico en el caso de las aulas 5 y 6 del colegio Nuevo Latir (Figura 6-19 y Figura 6-20) con T_{ext} de 30°C y media ponderada de VST en disconfort por calor.

En el caso de aulas 7 y 8 del colegio Juana (Figura 6-22 y **Figura 6-23**) las temperaturas están en confort y la media de VST presenta disconfort por frío.

Tabla 6-6: Tmr, To y VST en las aulas estudiadas periodo lluvioso

Aulas piso bajo

Aulas piso alto

Volumetría aula tipo

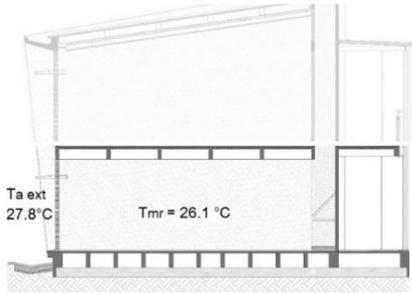


Figura 6-13: aula 1, piso 1. Isaías Duarte
To=26.4°C. **VST=0.17**
To= 26.6°C. **VST= -0.42**

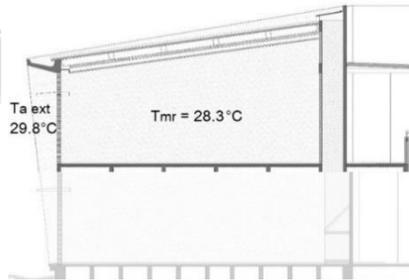


Figura 6-14: aula 2, piso 2. Isaías Duarte
To=28.4°C. **VST= 1.29**
To= 26.1°C. **VST= -0.71**

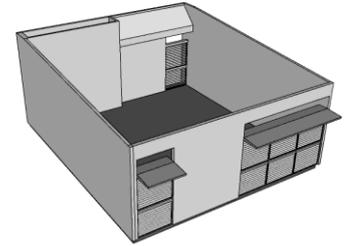


Figura 6-15: aula tipo colegio Isaías Duarte

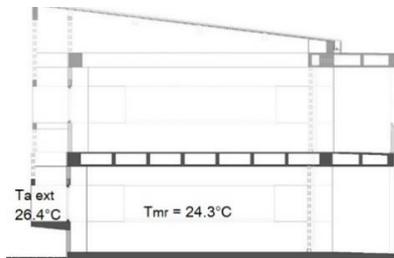


Figura 6-16: aula 3, piso 1. Nelson Garcés
To=25.8°C. **VST=-0.03**
To=26.7. **VST=-0.20**

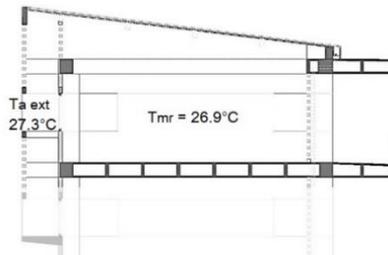


Figura 6-17: aula 4, piso 2. Nelson Garcés
To=27°C. **VST= -0.25**
To=26.5°C. **VST= 0.07**

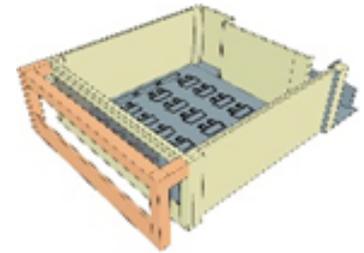


Figura 6-18: aula tipo colegio Nelson Garcés

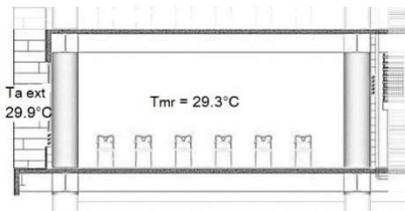


Figura 6-19: aula 5, piso 2. Nuevo Latir
To=29.6°C. **VST= 1.14**
To=26.8°C. **VST= -0.55**

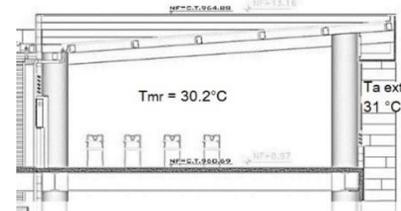


Figura 6-20: aula 6, piso 3. Nuevo Latir
To=30.4°C. **VST= 0.76**
To=28.4°C. **VST= -0.53**

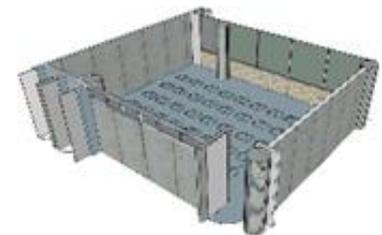


Figura 6-21: aula tipo colegio Nuevo Latir

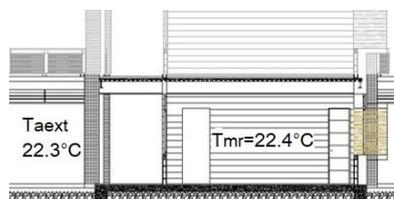


Figura 6-22: aula 7, piso 1. Juana de Caicedo
To=22.9°C. **VST=-2.33**
To= 24.3. **VST= 0.35**

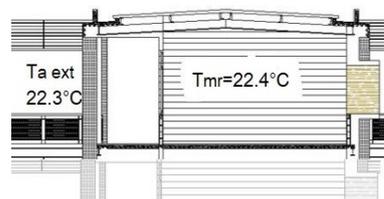


Figura 6-23: aula 8, piso 3. Juana de Caicedo
To=23.2°C. **VST= -1.85**
To= 26.5. **VST= 00**

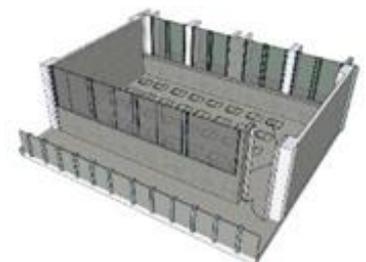


Figura 6-24: aula tipo colegio Juana de Caicedo

Fuente: elaboración propia

Lo anterior deja en evidencia el papel que juega el vidrio expuesto en la fachada, al momento de ganar temperaturas al interior, como consecuencia a una sobreiluminación (Evans y Schiller, 1988), pues en el caso de los colegios 2, 3 y 4, la materialidad es la misma en bloque de concreto, mientras lo que cambia es el área vidriada y las condiciones de ventilación, así: en el colegio 3 (Nuevo Latir, Figura 6-21) hay grandes ventanas con vidrio expuestas a la radiación solar directa y ventilación restringida.

En el caso del colegio 2 (Nelson, Figura 6-18), hay doble piel que protege de la radiación directa al interior, además de calados que garantizan la ventilación cruzada y en el caso del colegio 4 (Juana, Figura 6-24), los vanos presentan una protección sin vidrios, lo que garantiza el flujo constante del aire.

6.2.3. Temperatura neutral

La media ponderada de los votos en la escala de sensación térmica (VST) relacionada con la T_o se observa en la Figura 6-25, que muestra un patrón comparativamente más disperso en el periodo de lluvias que en el seco, alejándose de la franja de confort; es decir, entre ± 0.5 (Standard, 2017). En el periodo seco cinco aulas se encuentran dentro de confort, mientras que en el de lluvias tan solo 3. La regresión lineal muestra un coeficiente de determinación más alto en el periodo de lluvias, $R^2 = 0.85$, que, en el seco, $R^2 = 0.48$, indicando que en el periodo de lluvia hay correspondencia alta entre la T_o y TSV, mientras que en el periodo seco la correlación es débil. Esto permite inferir que otros factores intervienen en el confort (Nematchoua, Tchinda, & Orosa, 2014). Extrapolando linealmente la línea de regresión de cada periodo, entre -0.5 y 0.5, se determina el rango de T_o para confort, resultando $23\text{ °C} \leq T_o \leq 27.6\text{ °C}$, para periodo seco y $25.8\text{ °C} \leq T_o \leq 28\text{ °C}$ para lluvias. Estos rangos sobrepasan el máximo señalado por la norma NTC 5316 (ICONTEC, 2004) y ASHRAE (ANSI/ASHRAE 2017) ($T_o \leq 25\text{ °C}$, 60 % HR).

Otros estudios realizados en verano que también manifiestan confort por fuera de la norma son: Baruah (Baruah, Kumar Singh, & Mahapatra, 2014) quien identifica el rango de temperatura ambiente interior entre $27.3\text{ °C} \leq T_i \leq 30.7\text{ °C}$ y $77\% \leq HR \leq 84\%$; y H. H. Liang, Lin,

& Hwang (H.-H. Liang et al., 2012) quienes reportan $T_n = 29.2^\circ\text{C}$ (base en T_o) para el mes más caliente.

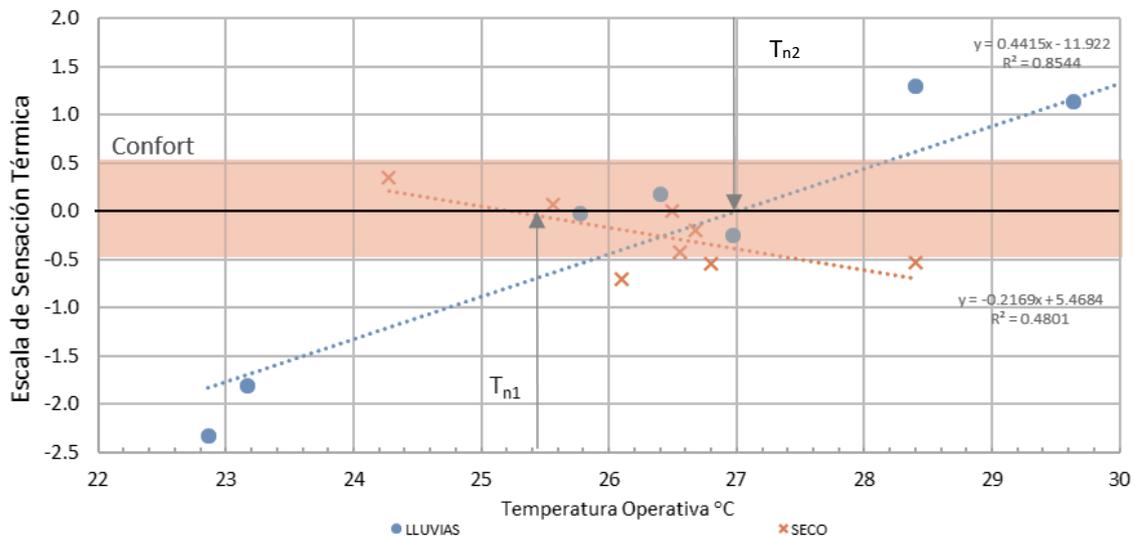


Figura 6-25: Media ponderada de VST en función de T_o por cada salón en los dos periodos de medición. Fuente: elaboración propia

En cuanto a la temperatura neutral mostrada en la Figura 6-25, en el periodo seco da $T_{n1} = 25.4^\circ\text{C}$, mientras que en el periodo lluvioso da $T_{n2} = 27^\circ\text{C}$. Dado que la temperatura interior y HR son similares en ambos periodos (27°C y 27.2°C y 59% y 61% respectivamente) y que los ocupantes manifiestan confort por fuera del rango normado, es plausible atribuir la diferencia a la capacidad de adaptación de las personas que viven en estos climas.

Lo encontrado en el periodo lluvioso es similar a otros en aulas naturalmente ventiladas, Hwang (R. L. Hwang, Lin, & Kuo, 2006) en Taiwan, reporta $T_n = 26.3^\circ\text{C}$, Misha (Mishra & Ramgopal, 2014), en laboratorios en India reporta $T_n = 26.6^\circ\text{C}$ y Ogbonna, A. C., & Harris, D. J. (Ogbonna & Harris, 2008), en aulas en Nigeria, reportan $T_n = 26.8^\circ\text{C}$; Todos sobrepasando los límites normativos. Otros reportes en colegios de Hawái y Japón, Kwok (A. G. Kwok, 1997; A. G. Kwok & Chun, 2003; A. G. Kwok, Reardon, & Brown, 1998) manifiestan confort con $T_o = 27.5^\circ\text{C}$, 27.5°C y 26.9°C .

Estos hallazgos, coinciden con otros estudios que cuestionan los límites de las normas internacionales, tales como los realizados en décadas anteriores en Singapur (Web, 1950), en donde la temperatura de confort $T_c = 25.94^\circ\text{C}$. O más aún, T_o de confort a 28.5°C (R. Ellis, 1952;

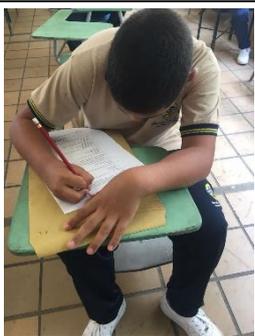
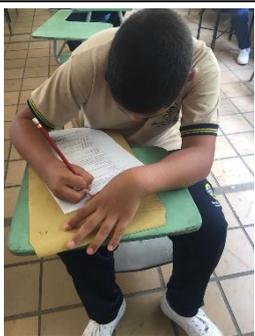
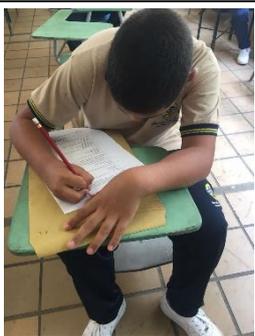
1953); y la $T_n=T_o$ 28.5 °C (R.J. De Dear y K.G. Leow et al.), estos últimos referenciados por (R. L. Hwang et al., 2006).

6.2.4. Análisis predictivo a partir del método analítico (índices PMV y PPD)

El voto medio estimado-PMV (del inglés *Predicted Mean Vote*) y el porcentaje estimado de insatisfechos-PPD (del inglés *Predicted Percentage of Dissatisfied*), se establecieron con la herramienta CBE/ASHRAE Thermal Comfort Tool, desarrollada por el Center for the Built Environment (CBE), University of California Berkeley (Hoyt et al., 2017), aplicada en clima ecuatorial para el análisis térmico de viviendas (Rodrigo, Sanabria, Marchamalo, y Umana, 2012), la herramienta se explica de una manera amplia en Standard 55 User's Manual (2013).

Como se explicó detalladamente en la metodología, entre los datos de ingreso para identificar los índices PMV y PPD, se encuentran los valores de met y clo. El met se asume como 1.2, correspondiente a actividad ligeramente sedentaria. Para el clo, se halla el promedio por cada salón acorde los uniformes en condición de verano de los colegios estudiados presentados en la Figura 6-26 a la Figura 6-29, como se muestra en Tabla 6-7:

Tabla 6-7: Valores promedio de aislamiento de ropa (clo) y edad en cada aula y colegio

Colegio	Isaías Duarte		Nelson Garcés		Nuevo Latir		Juana de Caicedo			
Uniforme tipo Clo promedio (%)										
	Figura 6-26:clo= 0.59%		Figura 6-27:clo= 0.52%		Figura 6-28:clo= 0.52%		Figura 6-29:clo= 0.57%			
	Aulas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Clo 1	0.70	0.56	0.54	0.50	0.56	0.54	0.59	0.70	
Clo 2	0.51	0.58	0.56	0.50	0.48	0.50		0.48	0.51	
Edad 1	11.7	10.1	11.4	10.4	13.1	12.7	12	14		
Edad 2	12.5	10.6	12.1	10.5	14	13.8		14.5	14.5	

Fuente: elaboración propia

La síntesis de todos los valores resultantes del PMV y PPD se presentan en la Tabla 6-8:

Tabla 6-8: PMV, PPD y datos de ingreso al CBE Comfort Tool

LLUVIOSO				SECO			
Aula	T _o [°C]	PMV	PPD (%)	Aula	T _o [°C]	PMV	PPD (%)
1	26,4	0,92	23	1	26,6	0,77	17
2	28,4	1,24	37	2	26,1	0,6	13
3	25,8	0,54	11	3	26,7	0,77	17
4	27,0	0,75	17	4	25,6	0,31	7
5	29,6	1,59	56	5	26,8	0,65	14
6	30,4	1,81	68	6	28,4	1,18	34
7	22,9	-0,12	5	7	24,3	0	5
8	23,2	0,15	5	8	26,5	0,65	14

Fuente: elaboración propia

Del análisis del PMV a través de una regresión lineal con la T_o (Figura 6-30), resultan dos patrones con tendencia similar en los dos periodos del estudio, contrario a los patrones arrojados entre los VST y T_o resultado de las encuestas. En cuanto a los coeficientes R, la relación resulta alta entre las dos variables en el PMV con R²= 0.95 y 0.96 en el periodo lluvioso y seco respectivamente, con una alta relación entre ambas variables, caso contrario a lo arrojado por las encuestas.

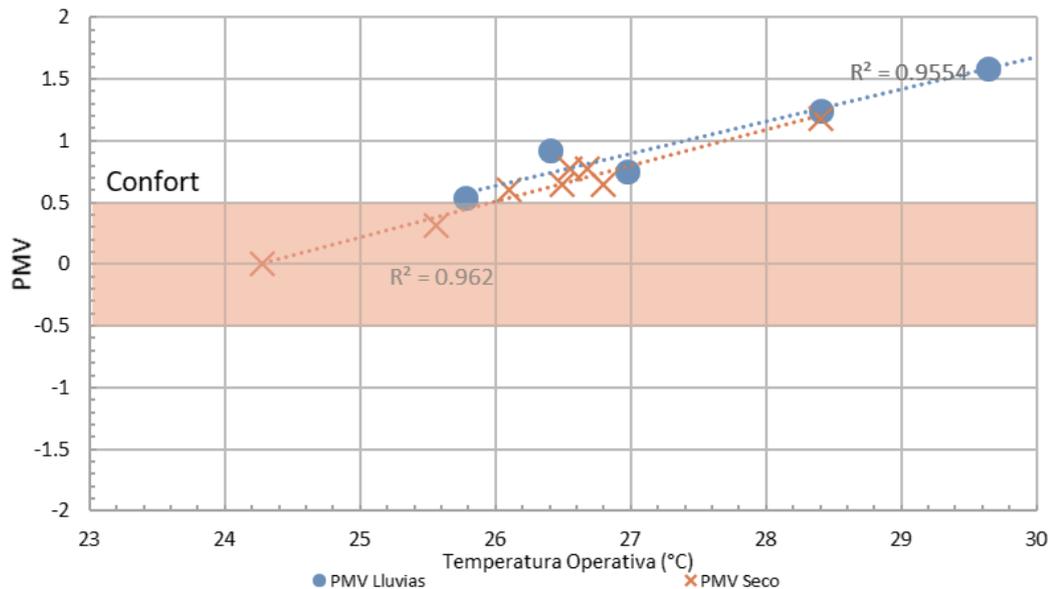


Figura 6-30: media ponderada de PMV en función de T_o por cada salón en los dos periodos de medición.
Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 6-30 , para el PMV la mayoría de las aulas en los dos periodos resultan por fuera del rango de confort de -0.5 a +0.5, escenario diferente al verificado a través de las encuestas en donde la mayoría de la media ponderada de los VST estuvieron en confort. Esta situación podría llevar a supuestos en donde las decisiones de diseño se basen en las predicciones térmicas a partir de del PMV, (Augusto, Xavier, & Lamberts, 2000) y resulten espacios con requerimientos mecánicos para proporcionar confort térmico, aun cuando los ocupantes puedan estar en confort, aumentando el consumo energético de los edificios. El análisis bajo el PMV ajustado a los espacios ventilados naturalmente (Fanger & Toftum, 2002) en las aulas estudiadas, hizo parte de un aporte puntual que excede los alcances del presente trabajo (Montoya y Herrera, 2019).

Por otro lado, la Temperatura Neutral (T_n) del modelo PMV, también resultó más baja que la T_n resultado de las encuestas. Bajo el PMV la $T_n=23.6$ °C y 24.3 °C (periodo de lluvias y seco respectivamente) con resultados muy similares en los dos momentos; resultando entre 3°C y 1°C por debajo de la T_n bajo VST.

Para hacer la comparación entre el porcentaje de insatisfechos de las encuestas y el porcentaje (%) de PPD bajo el modelo teórico del PMV, se asumen los votos entre -3, -2, +2 y +3, como votos de estudiantes insatisfechos (ANSI/ASHRAE, 55-2017, p. 39), ver la Tabla 6-9.

Tabla 6-9: Cantidad y porcentaje (%) de Votos de Sensación Térmica-VST

Escala térmica Periodo	(-3 y -2)		(-1, 0, +1)		(+2, +3)	
	Respuestas	%	Respuestas	%	Respuestas	%
Lluvias	42.0	19.9	102.0	48.3	67.0	31.8
Seco	77.0	29.8	148.0	57.4	33.0	12.8
TOTAL	119.0	25.4	250.0	53.3	100.0	21.3

Fuente: elaboración propia

El porcentaje total de personas insatisfechas (PPD) corresponden a 46.7 %, frente a 53.3% de los votos aceptables, situación distante de la establecida por la norma para los valores del PMV y PPD, en 80% y 20% respectivamente. En la Figura 6-30, los valores ponderados de los votos por cada salón están en relación la Temperatura Operativa (T_o), y muestra como hay una cantidad grande de votos entre los valores 0.5 a 2.0, o en disconfort por situación de calor.

Los resultados en este estudio en Cali, son consistentes con los resultados arrojados por otros estudios en aulas ventiladas en condiciones tropicales en donde la aceptabilidad estuvo por debajo del 80%, llegando a valores del PPD como 56,7% (A. Kwok, 1997); 29% (James, Christian, & James, 2012); 57% (R.-L. Hwang, Lin, & Kuo, 2006); 56,7% (Wong & Khoo, 2003).

6.2.5. Análisis a partir del método: Adaptativo

Las condiciones en el presente estudio cumplen con todas las determinantes para hacer el análisis bajo el modelo adaptativo, donde la actividad en el aula es ligeramente sedentaria entre 1,0 y 1,3 met. El nivel de aislamiento de ropa en los cuatro colegios se registra entre 0,5 clo y 0,7 clo, acordes con la condición de verano (ANSI/ASHRAE Standard 55-, 2017). Las aulas tienen las posibilidades de cerrar y abrir ventanas (Figura 6-31), no tienen ningún complemento para climatizar, y presentan vanos, calados, persianas y rejas que garantizan una relación directa con las condiciones exteriores.



Figura 6-31: Aberturas en fachadas en las aulas 7 y 4. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 6-32, resultado del análisis con la herramienta CBE Thermal Comfort Tool (Hoyt et al., 2017), la mayoría de las aulas bajo el modelo teórico resultan entre el 80% y 90% de aceptabilidad. Resultando sólo entre el 80% de aceptabilidad aquellas aulas con $T_o \geq 28^{\circ}\text{C}$.

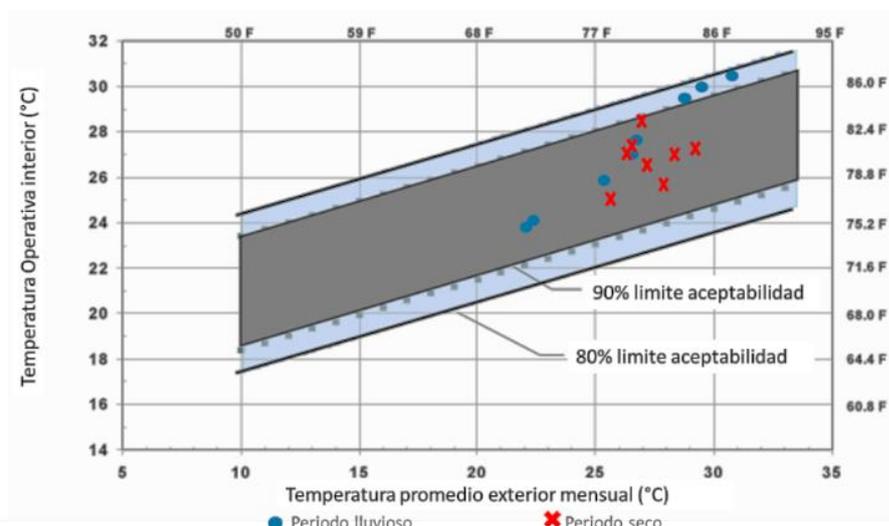


Figura 6-32: Límites del 80% y 90% de aceptabilidad en los dos periodos.

Fuente: elaboración propia a partir de la gráfica del modelo adaptativo de la CBE Comfort Tool

Los rangos correspondientes después de aplicar la ecuación 6 propuesta por el modelo para determinar el límite superior e inferior en confort se presentan en la Tabla 6-10. La aceptabilidad predicha (entre 80% y 90%) a partir de la temperatura promedio en los meses de medición, resultó muy superior a la manifestada por los estudiantes, la cual no superó el 53.3% presentado anteriormente en la Tabla 6-9, lo que podría implicar mayor indefinición de las exigencias térmicas en un determinado ambiente.

Tabla 6-10: Aceptabilidad térmica bajo el modelo adaptativo

Aula	PERIODO LLUVIOSO					PERIODO SECO				
	Tpma (ext)	To interior	Límite	Límite	Aceptabilidad	Tpma (ext)	To interior	Límite	Límite	Aceptabilidad
			To	To				To	To	
1	27.8	26.4	29.9	22.9	90%	29.4	26.6	30.4	23.4	90%
2	29.8	28.4	30.5	23.5	80%	27.3	26.1	29.8	22.8	90%
3	26.4	25.8	29.5	22.5	90%	28.4	26.7	30.1	23.1	90%
4	27.3	27.0	29.8	22.8	90%	28.2	25.6	30.0	23.0	90%
5	29.9	29.6	30.6	23.6	80%	26.5	26.8	29.5	22.5	90%
6	31.0	30.4	30.9	23.9	80%	26.9	28.4	29.6	22.6	90%
7	22.3	22.9	28.2	21.2	90%	25.6	24.3	29.2	22.2	90%
8	22.8	23.2	28.4	21.4	90%	26.2	26.5	29.4	22.4	90%

Fuente: elaboración propia

Al comparar los niveles de aceptabilidad determinados por la TSV y la herramienta CBE Comfort tool, en la Figura 6-33 y Figura 6-34 se observa que el resultado con la CBE Comfort

Tool, en todas las aulas, la aceptabilidad es superior al 80%. Sin embargo, las encuestas demuestran que solo dos aulas (1 y 7 en el periodo seco) se acercan al 70% y el resto son menores al 60% de aceptabilidad.

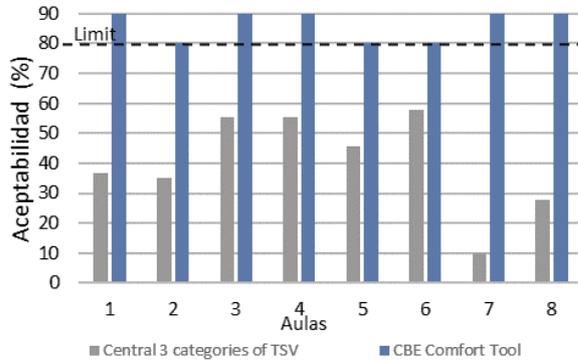


Figura 6-33: Comparación entre los votos en confort y aceptabilidad periodo lluvioso.

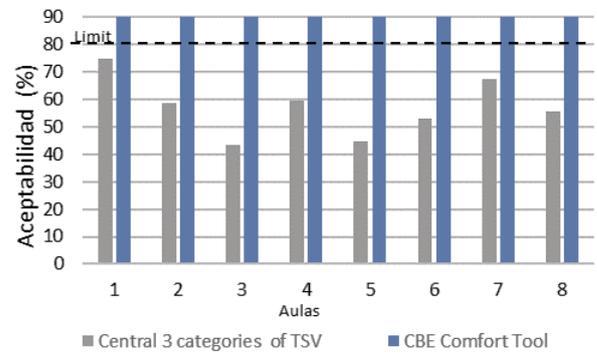


Figura 6-34: Comparación entre los votos en confort y aceptabilidad periodo seco.

Fuente: elaboración propia

También se observa que los porcentajes de aceptabilidad son mayores en el periodo lluvioso frente al seco. Esta misma situación fue reportada por Yaoundé en Africa, con clima tropical frío y húmedo (Nematchoua et al., 2014), lo que confirma que en lugares con temperaturas ambiente elevadas, el nivel de acostumbramiento juega un papel relevante. El análisis de la temperatura operativa en confort ($T_{oc} = 18.9 + 0.255T_{ext}$) arroja $T_{oc}=25.5^{\circ}\text{C}$ y 25.3°C , para periodo seco y lluvioso respectivamente, muy cercana a la T_n calculada con TSV para el periodo seco y coherente con $T_n = 25^{\circ}\text{C}$ reportado por Nematchoua, Tchinda y Orosa en contextos similares (Nematchoua et al., 2014). Para el periodo lluvioso T_{oc} resulta 1.1°C por debajo de $T_n=27^{\circ}\text{C}$ con TSV y consistente con el resultado en Taiwan (H. H. Liang, Lin, & Hwang, 2012), en donde el modelo teórico resultó hasta 2.3°C más bajo (Tabla 6-11).

Tabla 6-11: Temperatura Operativa en Confort

Colegio	PERIODO LLUVISO		PERIODO SECO	
	Text	Toc	Text	Toc
1	24.7	25.2	25.5	25.4
2	25.3	25.4	26.3	25.6
3	25.9	25.5	26.3	25.6
4	25.2	25.3	26.4	25.6

Fuente: elaboración propia

Después de presentar los resultados de las mediciones en el componente térmico, se presentan las de los otros dos componentes, el visual y finalmente el auditivo.

6.3. Auditoria objetiva para el confort visual. Día de la encuesta

Como se explicó anteriormente en la metodología, las mediciones del componente visual se realizaron en simultáneo con la aplicación de la encuesta a los estudiantes.

6.3.1. Análisis global de iluminancias

Para el análisis de la situación visual en las aulas, se presentan inicialmente los resultados de la auditoria objetiva, específicamente en el análisis de las iluminancias y el Factor de Luz Día (FLD), para luego interpretar la opinión de los estudiantes.

El análisis de las iluminancias (lux) o iluminación absoluta registrada en forma puntual sobre el escritorio de cada estudiante, considerando solo el aporte de la iluminación natural incidente, arrojan resultados dispares en las mediciones de las aulas analizadas. El rango de confort según Norma NTC 4595, determina una iluminancia recomendable o superior a 300 Lux (2010) (ICONTEC, 2000) y 500 Lux (corrección en la versión del 2015) (ICONTEC, 2015).

Para el caso del mes de agosto (período seco), considerando solo aporte de la iluminación natural desde el aventanamiento, se observan valores medios admisibles por encima de los valores recomendado en las 4 aulas, pero con valores máximos cercanos a las ventanas de 1000 a 1200 lux y mínimos, alejados de las ventanas, por debajo de los 300 lux. La situación con mayor equilibrio corresponde al aula 3 (Colegio Nelson) y las más desfavorables, el aula 5 y 6 a pesar de contar con grandes áreas vidrias en la fachada expuesta (Colegio Nuevo Latir), como también el aula 8 (colegio Juana), (ver Figura 6-35 y Figura 6-36).

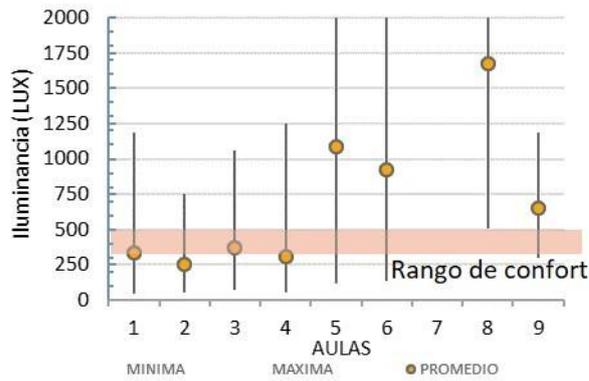


Figura 6-35: Iluminancia natural (Lux) (Max., Med., Min)

Medición mes de agosto

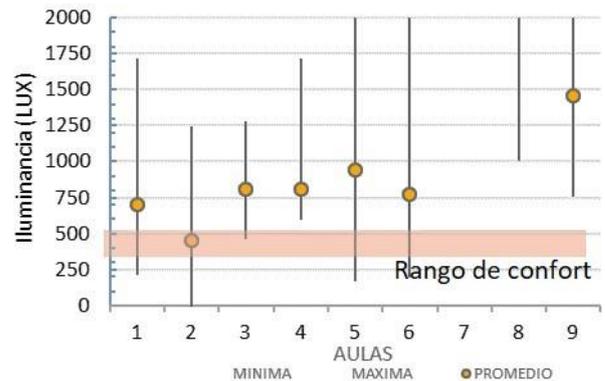


Figura 6-36: Iluminancia Natural + Artificial (Lux), (Máx., Med., Mín.)

Medición mes de agosto

Fuente: elaboración propia

Para la situación con aporte de iluminación natural lateral + iluminación artificial de toda el aula, las iluminancias medias se elevan entre los 700 y 1000 lux en las aulas 1, 3, 4, 5, y 6, y en el aula 8 y 9 por encima de 1500 lux implicando niveles medios excesivos para la actividad desarrollada. Si bien se elevan satisfactoriamente los niveles mínimos por encima de los 300 lux, los máximos son decididamente elevados por encima de los 1200 lux. Las aulas 5, 6, 8 y 9 exponen niveles máximos excesivos, en coherencia con la resolución de la envolvente, en el caso 5 y 6 (grandes áreas con vidrios) y en el de las aulas 8 y 9 (vanos grandes en las dos fachadas).

En la Figura 6-37 se presenta el ambiente lumínico del aula 6 del colegio Nuevo Latir y en la Figura 6-38 la del aula 2, del colegio Isaías Duarte Caicedo.



Figura 6-37: Aula 5 colegio Nuevo Latir



Figura 6-38: Aula 2 colegio Isaías Duarte Caicedo

Fuente: archivo de la investigación

Pareciera evidente que no se requiere el aporte de iluminación adicional (con su consecuente consumo de energía eléctrica) en toda el aula, sino solo en la franja más alejada de la ventana o fuente de luz natural, a pesar que en este tipo de clima la iluminación natural debería ser suficiente (Evans y Schiller, 1988). Este hecho se solucionaría al generar circuitos diferenciados de encendido de las luminarias, de modo selectivo, con lo cual generar un aporte en el sector que lo necesite durante las horas de clase, aportando al criterio de eficiencia energética.

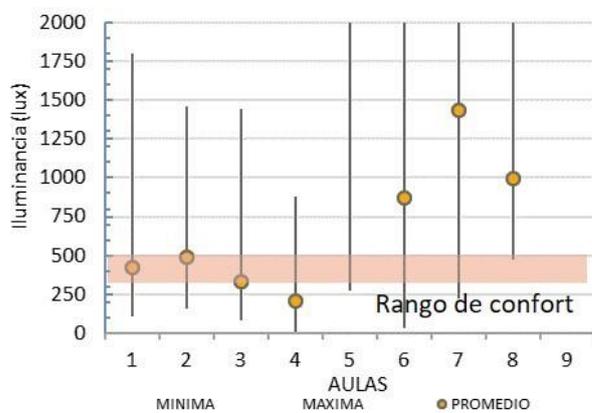


Figura 6-39: Iluminancia Natural (Lux)
(Máx., Med., Mín.).
Medición del Mes de Marzo

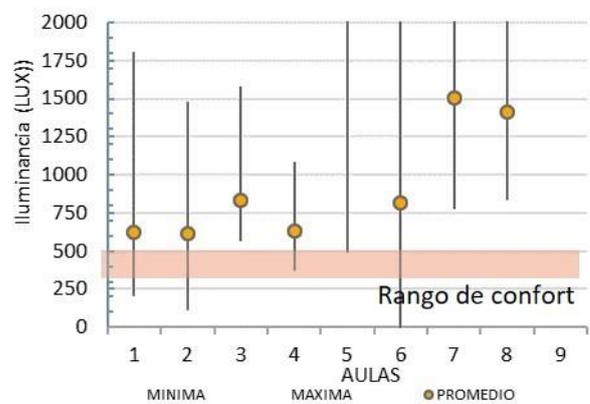


Figura 6-40: Iluminancia Natural + Artificial (Lux),
(Máx., Med., Mín.)
Medición del Mes de Marzo

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del mes de Marzo (período húmedo), con aporte de iluminación natural, se registran en las aulas 1, 2 y 3 valores de iluminancia más elevados que los del mes de agosto, con promedios entre 300 a 500 lux, con valores mínimos por debajo de 200 lux y máximos demasiado elevados (Figura 6-39). Para las aulas 5, 6, 7 y 8, los valores medios y máximos son de nuevo muy elevados, lo cual representa de seguro el ingreso incontrolado de luz solar directa en el espacio con consecuencias negativas, como brillos indeseados y altos contrastes (Wu & Ng, 2003) .

Para la situación con aporte de iluminación natural lateral + iluminación artificial, en las aulas 1, 2, 3 y 4 hay un incremento proporcional en todas, mientras en el resto de las aulas con los mayores valores, estos no varían en forma sustancial (Figura 6-40).

Llama la atención que las aulas ubicadas en los pisos altos como la 2, 4 6 y 8, no necesariamente presentan mejores niveles de iluminancia con respecto a las aulas de los pisos bajos como la 1, 3, 5 y 7. Lo anterior puede ser el resultado del peso que tienen los acabados de los materiales al interior, como también a las orientaciones de cada aula.

6.3.2. Distribución de iluminancias. Iluminación natural

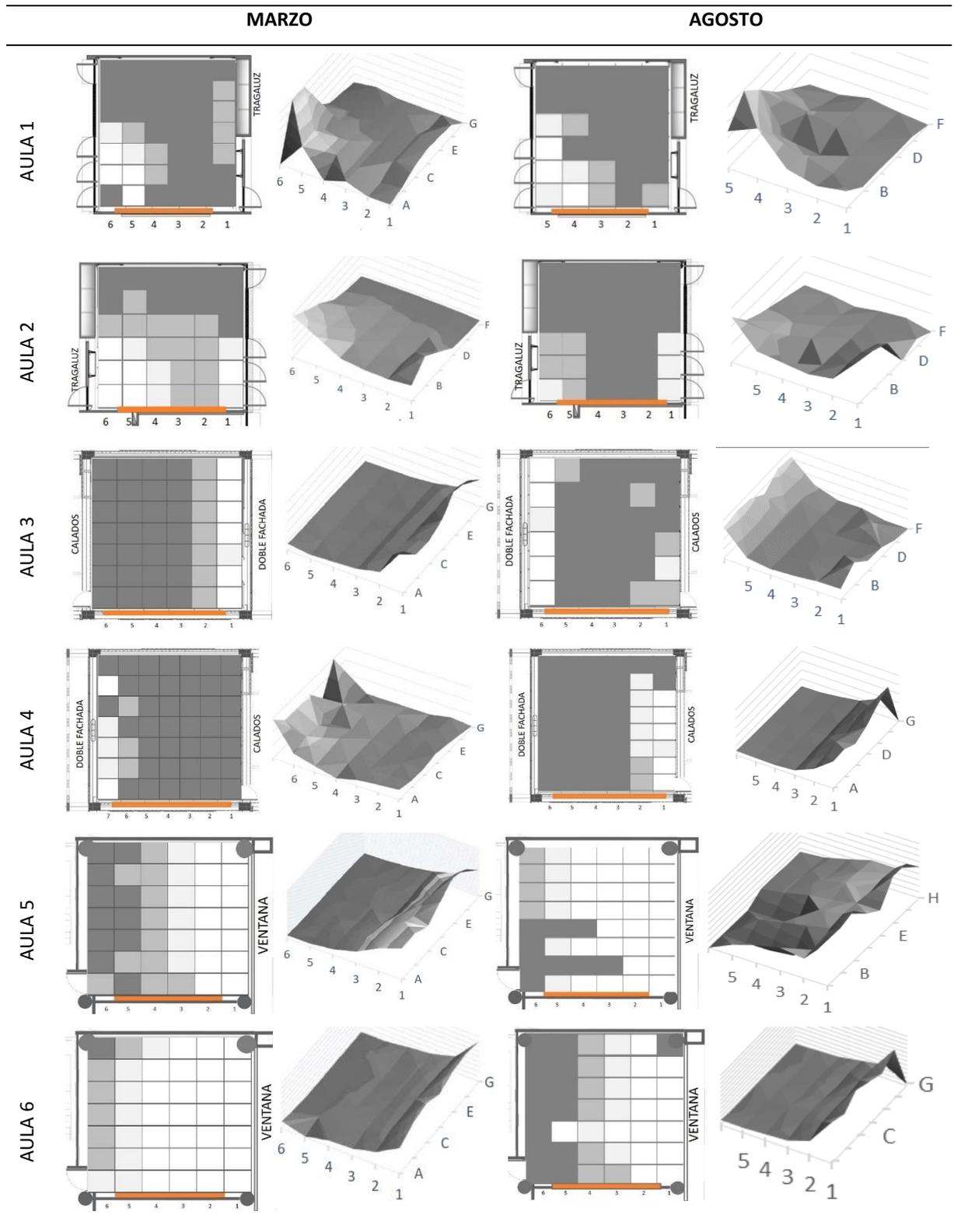
La distribución de iluminancias al momento de la encuesta se presenta en detalle en la Tabla 6-12. Arroja los niveles más bajos en los colegios 1 y 2, en las aulas 1, 2, 3 y 4. En estas dos últimas, los niveles en general se registran por debajo del rango de confort local (300 lux), dejando solo a los estudiantes ubicados al lado de la ventana, con los niveles adecuados.

En las aulas 1 y 2 la envolvente con persianas, se obtienen mejores niveles en el aula 2 en el mes de marzo, resultado de la orientación del aula, la cual favorece el sol de la mañana, mientras los demás valores se registran en su mayoría por debajo del rango comprendido entre 300 y 500 lux. En el caso de las aulas 3 y 4, con resolución de doble fachada en la expuesta y de calados hacia el corredor, la situación es similar en los dos meses.

En las aulas 5 y 6 con iluminación a través de una gran ventana, se obtiene en la mayoría de los espacios los niveles superiores y recomendados, sin embargo, también se presentan áreas hacia la fachada opuesta con bajos niveles, evidenciando problemas en la uniformidad del espacio (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2010).

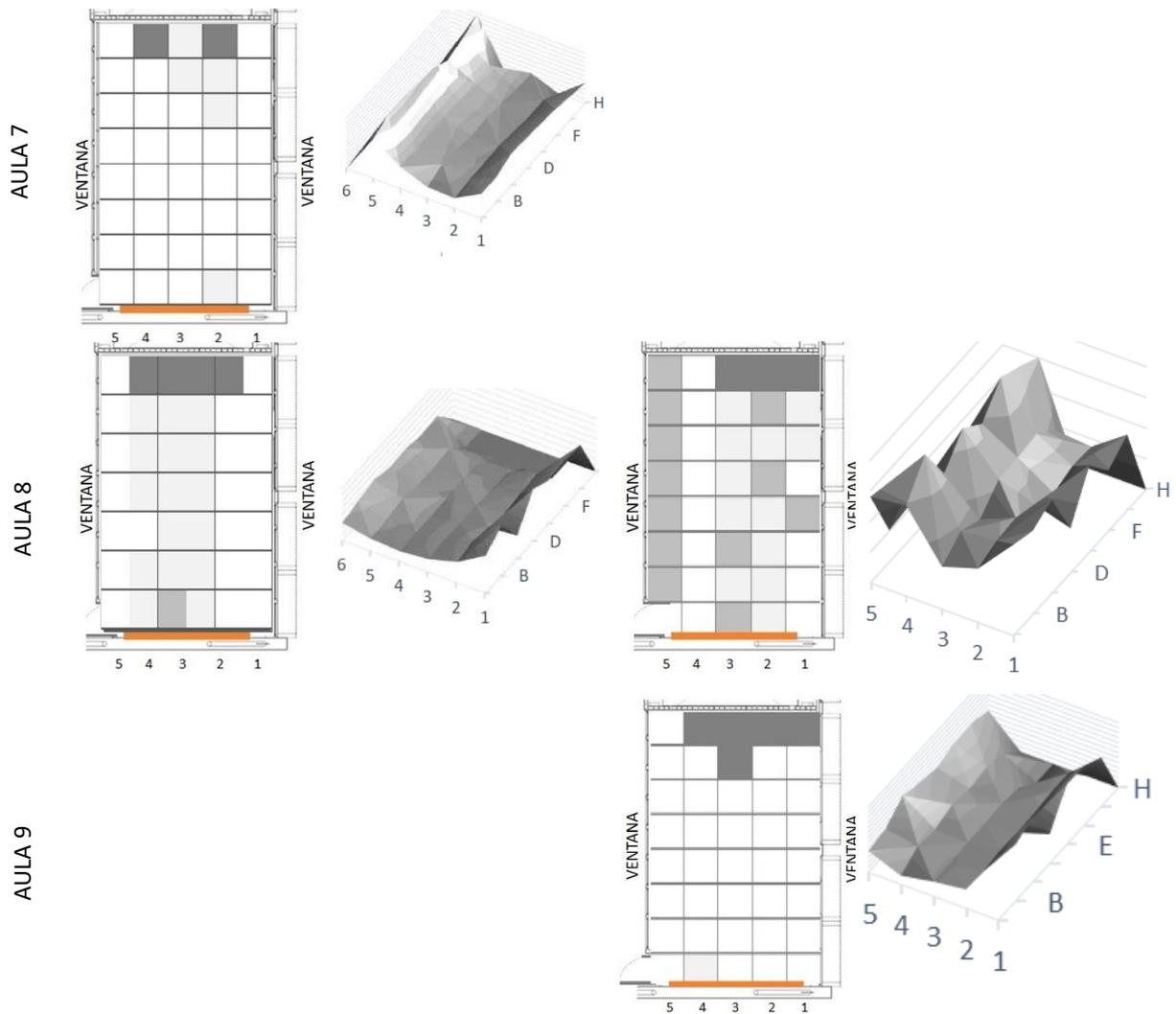
El único caso en que la mayoría del espacio cuenta con los niveles superiores, son en las aulas 7 y 8, el único de los casos con ventana amplia hacia el corredor.

Tabla 6-12: Distribución de las iluminancias, iluminación natural



MARZO

AGOSTO



Nota: Los colores pertenecen a los siguientes rangos:

En la planta:	0- 299	300-500	500-750	+ 750									
En el gráfico 3D:	0-300	300-600	600-900	900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2100	2100-2400	2400-2700	2700-3000	3000-3300	3300-3600	3600-3900

Fuente: elaboración propia

6.3.3. Distribución de iluminancias. Iluminación natural + artificial

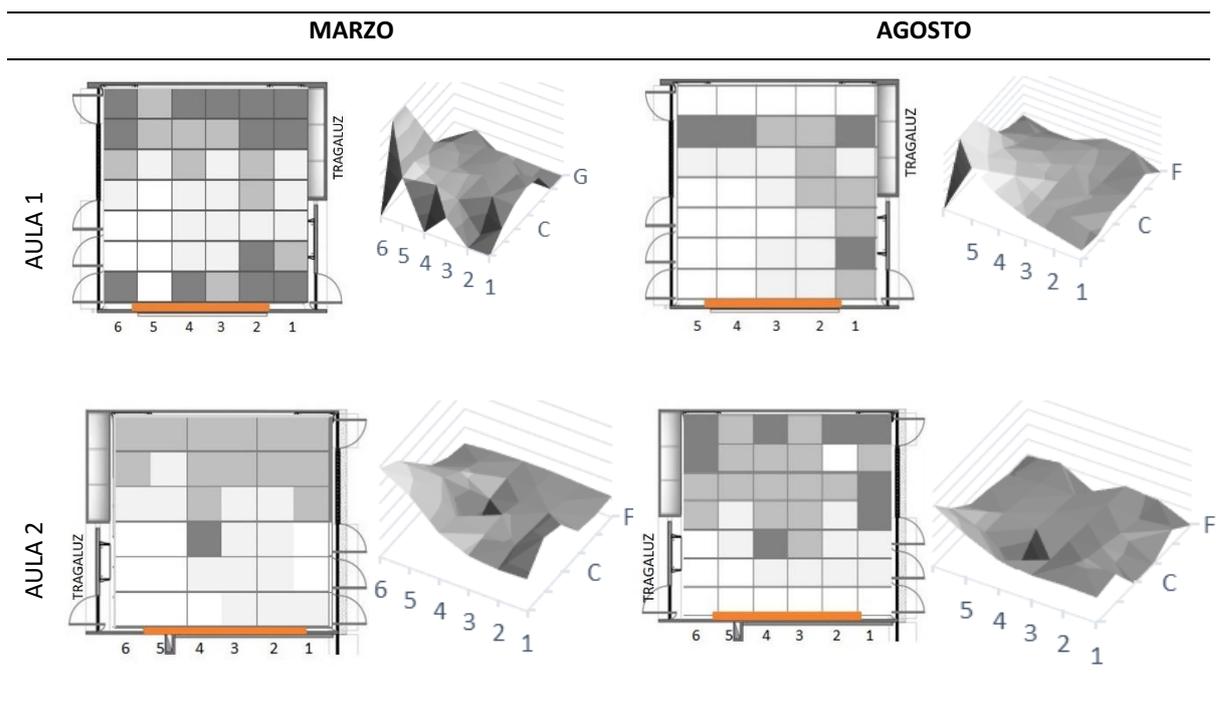
El uso adecuado de la luz natural durante toda la jornada escolar es uno de los objetivos de la norma NTC4595 4595 (ICONTEC, 2000) y en sintonía con este objetivo, varios autores han analizado ahorros que representan entre 50% y 80% del ahorro energético sobre el consumo total, al prescindir del uso de la energía eléctrica para el acondicionamiento lumínico

(Monteoliva y Pattini, 2013). En las aulas estudiadas, la distribución del rango adecuado de iluminancias al momento de la encuesta (por iluminación natural), mejora con la situación de iluminación artificial complementaria (Hopkinson & Longmore, 1959) especialmente desde el aula 1 a la 4 (Tabla 6-13), lo que indica la necesidad de contar con la iluminación artificial desde la mañana, no solo como complemento como indica la norma, sino de manera permanente para garantizar la iluminancia adecuada.

En el caso de las aulas 5 y 6, con la iluminación artificial se elevan los valores en general, sin embargo, todavía se presentan valores por debajo de los recomendados y, hacia la fachada, valores excesivos, lo que seguramente es el resultado de la iluminación exclusiva por una de las fachadas y por las amplias dimensiones de las aulas por encima de 8 mts, evidenciando problemas que desbordan el confort visual, como aumento de calor y reducción de la eficiencia energética (Graves & Pearson, 1993).

En el caso de las aulas 7 y 8, en donde también se elevan los niveles de iluminancias, con valores por encima de 2000 lux hacia la ventana y corredor, con el riesgo de presencias de altos brillos y contrastes indeseados.

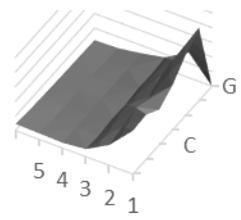
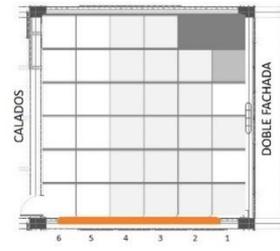
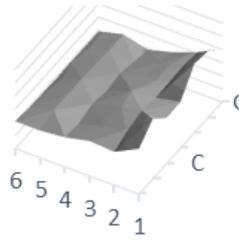
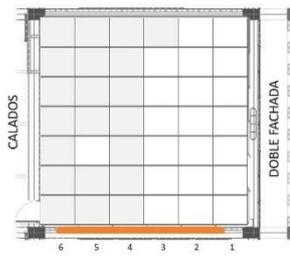
Tabla 6-13: Distribución de las iluminancias, iluminación natural + artificial



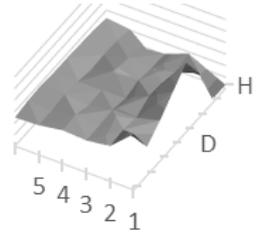
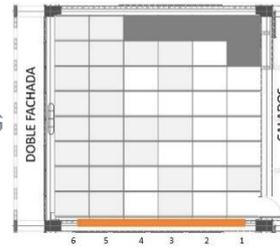
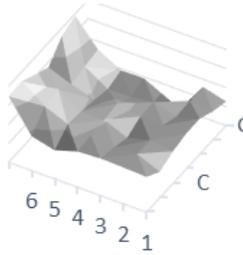
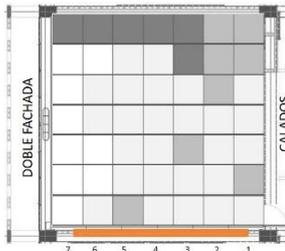
MARZO

AGOSTO

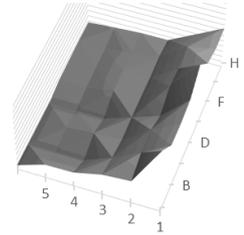
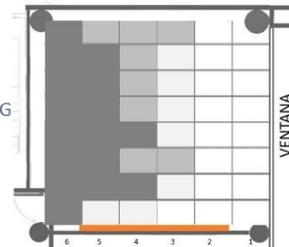
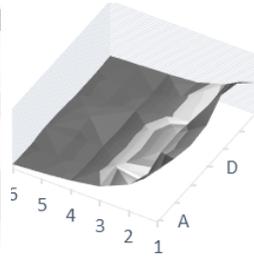
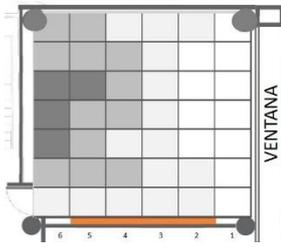
AULA 3



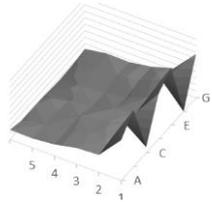
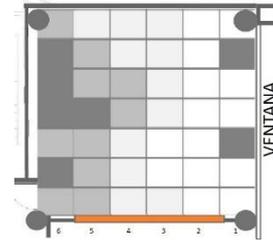
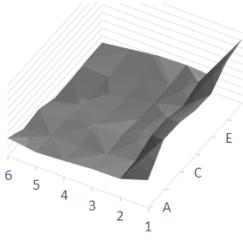
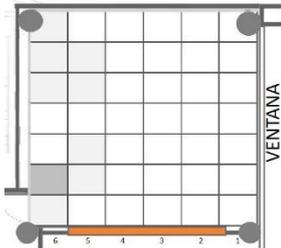
AULA 4



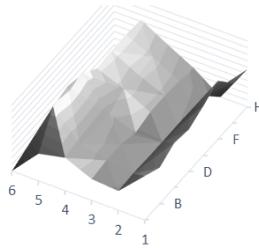
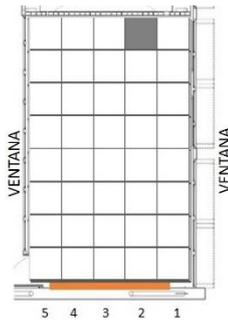
AULA 5



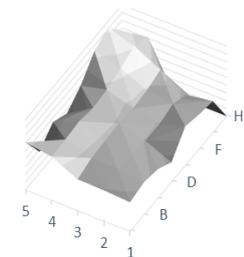
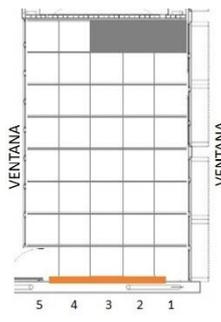
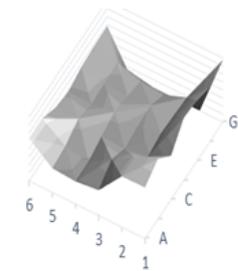
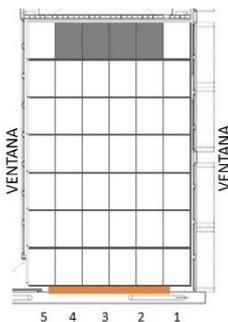
AULA 6



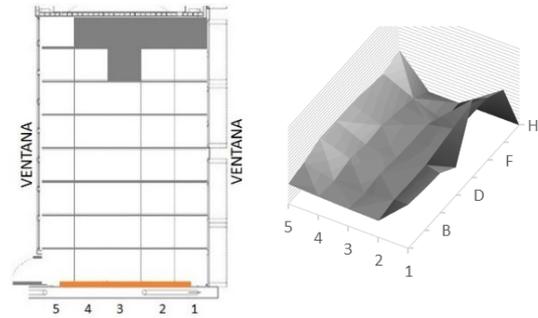
AULA 7



AULA 8



AULA 9



Nota: Los colores pertenecen a los siguientes rangos:

En la planta:	■ 0- 299	■ 300-500	■ 500-750	□ + 750			
En el gráfico 3D:	■ 0-300	■ 300-600	■ 600-900	■ 900-1200	■ 1200-1500	■ 1500-1800	■ 1800-2100
	■ 2100-2400	■ 2400-2700	■ 2700-3000	■ 3000-3300	■ 3300-3600	■ 3600-3900	

Fuente: elaboración propia

En otros estudios realizados en contextos similares, se ha demostrado el beneficio de un adecuado diseño de elementos de fachada para la reflexión de la luz, que impliquen por un lado una mejor reflexión de la luz, y por otro, promueva ahorros energéticos (Ho, Chiang, Chou, Chang, & Lee, 2008).

6.3.4. Análisis del Factor de luz día (FLD)

A pesar que las métricas dinámicas son las herramientas más actuales para la evaluación del confort visual (Illuminating Engineering Society, 2012; Mardaljevic & Nabil, 2005), y la limitación sobre caracterizar el ambiente lumínico con valores absolutos e instantáneos en el tiempo (Monteoliva, Villalba, y Pattini, 2014), el FLD continúa siendo uno de los índices más usados por las normas para la valoración del confort.

En cuanto a las mediciones realizadas punto a punto sobre la mesa de trabajo de los estudiantes, en el mes de Agosto (período seco), solo con el aporte de luz natural, se registra que las aulas 2 a la 6 se encuentran por debajo de lo indicado por la norma. Las aulas 1 (Figura 6-41) y 9 (Figura 6-42), poseen valores medios y máximos aceptables, pero el aula 8, le corresponde valores altos, implicando en este caso que el sector de envoltente expuesta al

exterior y que contiene los aventanamientos, no posee un filtro adecuado de la iluminación exterior.



Figura 6-41: Aula 1, colegio Isaías Duarte



Figura 6-42: Aula 9, colegio Juana de Caicedo

Fuente: archivo de la investigación

Si se analiza la condición anterior + el aporte de iluminación artificial, la mayoría de las aulas mejoran su situación, salvo las aulas 5 y 6 (Colegio Nuevo Latir), lo que llama la atención sobre lo que seguro es el máximo niveles de iluminancia y FLD por iluminación natural a través de las áreas vidriadas. Las aulas 1, 2 y 8 y 9 (colegios Isaías y Juana respectivamente) elevan los niveles apartándose en más del correcto (Figura 6-43 y Figura 6-45).

En los dos meses las situaciones son similares, excepto en dos aulas. No se observan cambios sustanciales en los niveles de iluminancia y FLD, entre los dos momentos de medición; más bien, los cambios se derivan de la iluminación natural exclusiva, o la combinación entre esta y la artificial (Figura 6-44 y Figura 6-46).

Vale la pena resaltar las pocas variaciones en las aulas 5 y 6 con y sin presencia de lámparas encendidas, lo que indica que la iluminación natural es la protagonista al momento de generar las condiciones lumínicas la interior. Se observan que en algunas aulas el FLD es excesivo, entre 4 y 6% porcentajes recomendados para contextos con estaciones marcadas y cielos nublados (Wu & Ng, 2003), lo que implica el excesivo ingreso al local de iluminación sin que el sistema de sombreo lo filtre y controle.

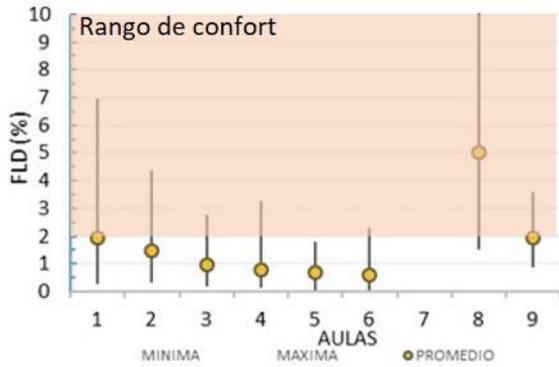


Figura 6-43: Factor de Luz Día (FLD), con iluminación natural (Máx., Med., Mín.). Medición del Mes de Agosto

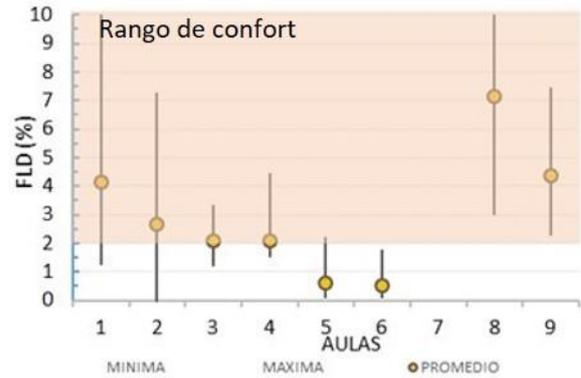


Figura 6-44: Factor de Luz Día (FLD) con Natural + Artificial (Lux), (Máx., Med., Mín.). Medición del Mes de Agosto

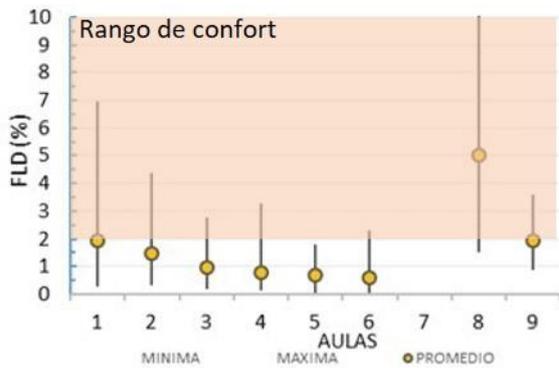


Figura 6-45: Factor de Luz Día (FLD), con iluminación natural (Máx., Med., Mín.) Medición del Mes de Marzo

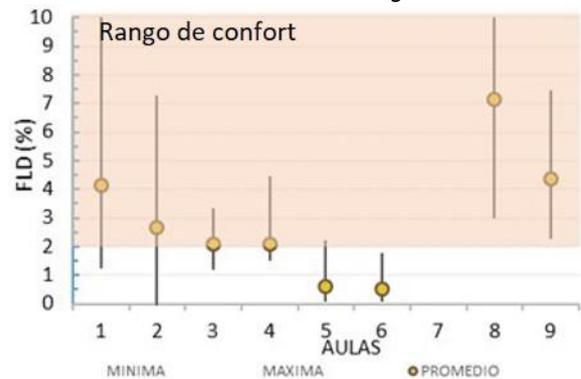


Figura 6-46: Factor de Luz Día (FLD) con Natural + Artificial (Máx., Med., Mín.) Medición del Mes de Marzo

En naranja rango de confort. Fuente: elaboración propia

6.3.5. Coeficiente de Uniformidad (Uo)

Las gráficas comparan las aulas en los dos meses analizados, con iluminación natural y con iluminación artificial adicional. Para el primer caso los indicadores arrojan valores, en su mayoría por debajo del 20%, muy por debajo de lo establecido por la norma (mínimo admisible= 50%), aunque en las aulas 8 y 9 los valores se aproximan, pero con valores de iluminancia excesivos (Figura 6-47). Para el segundo caso, al prender las luminarias, los valores mínimos y medios, en forma lógica se aproximan, pero las condiciones siguen siendo menores que el rango admisible. Esto se debe en gran parte a que en las aulas el aporte de iluminación natural, se realiza de manera unidireccional, desde la fachada expuesta al exterior (Figura 6-48).

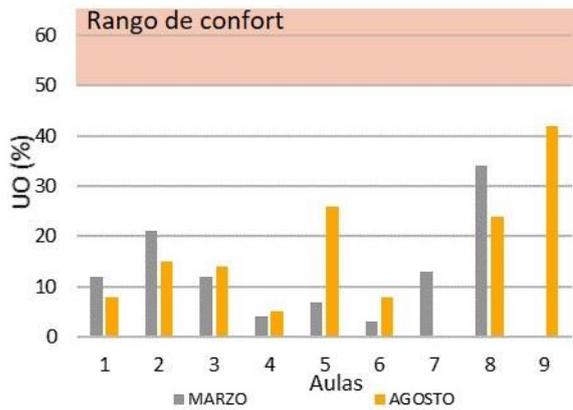


Figura 6-47: Coeficiente de Uniformidad.
Iluminación natural
Marzo y Agosto



Figura 6-48: Coeficiente de Uniformidad.
Iluminación natural + Artificial
Marzo y Agosto

En naranja rango de confort. Fuente: elaboración propia

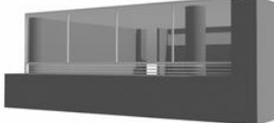
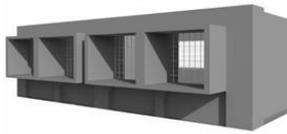
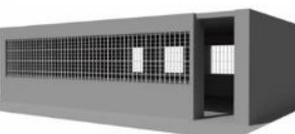
Llama la atención la situación de las aulas 5 y 6, las cuales presentaron niveles excesivos de iluminancia, sin embargo, la uniformidad no es la más adecuada por lo sustentado anteriormente. Por el contrario, las aulas 8 y 9 con el mejor comportamiento, son las que presentan un mejor Uo. En el caso de las aulas 3 y 4, con calados hacia la fachada del corredor, no logran mejorar el coeficiente de uniformidad.

6.3.6. Síntesis APPU Objetiva

Los niveles de iluminancia de las aulas 1 y 2 (Isaías) y 3 y 4 (Nelson) son similares resultado de las persianas en la fachada, con colores en paredes con bajos niveles de reflectancia (13% frente al 50% y 70% de la norma) en Isaías. En el colegio Nelson, a pesar de tener colores más claros en paredes y techos (74% de reflectancia), la doble piel disminuye los valores en relación, quedando en el aula del segundo piso con niveles de iluminancia por debajo de los 300 lux. (Ver Tabla 6-14).

Por otro lado, las aulas 5 y 6 (Nuevo Latir) y, 7 y 8 (Juana) presentan valores promedio superiores a los 500 lux, como también los mayores porcentajes de uniformidad por encima del 50% recomendado por la norma del año 2015.

Tabla 6-14: Síntesis de indicadores confort visual

Fachada Principal	Fachada Corredor	No. Aula	Iluminancia		FLD (%)		Uo (%)	
			Mar	Ago	Mar	Ago	Marz	Ago
		1	421	331	1.1	1.9	12	8
		2	493	250	1.3	1.5	21	15
<i>Colegio 1: Isaías Duarte Cancino-IDC</i>								
		3	333	375	0.8	1.0	12	14
		4	207	305	0.5	0.8	4	5
<i>Colegio 2: Nelson Garcés Vernaza-NGV</i>								
		5	2140	1085	5.5	0.7	7	26
		6	874	924	2.3	0.6	3	8
<i>Colegio 3: Nuevo Latir-NL</i>								
		7	1439		3.7		13	
		8	996	1679	2.6	5.0	34	24
		9		647		1.9		42
<i>Colegio 4: Juana de Caicedo y Cuero-JCC</i>								

En rojo valores por debajo del nivel recomendado por norma.

Fuente: elaboración propia

6.4. Auditoria subjetiva para el confort visual. Día de la encuesta

Las preguntas a los estudiantes se hicieron en condiciones de iluminación natural y luego, artificial. Cuando se preguntó a los estudiantes sobre la valoración de la iluminación, en la mayoría de las aulas la opinión fue favorable, independiente de los niveles lumínicos registrados en ese momento, los cuales fueron presentados en detalle en los puntos anteriores.

Llama la atención, que en las aulas 1, 2, 3 y 4 la valoración sea positiva, muy cercana a las demás aulas con niveles superiores; y en cambio, aulas como la 7 y la 9 con altos niveles, tengan las menores valoraciones en situación de iluminación natural y artificial, lo que evidencia el malestar no por bajos niveles, sino por el contrario, por niveles excesivos de iluminancia (Figura 6-49 y Figura 6-50).

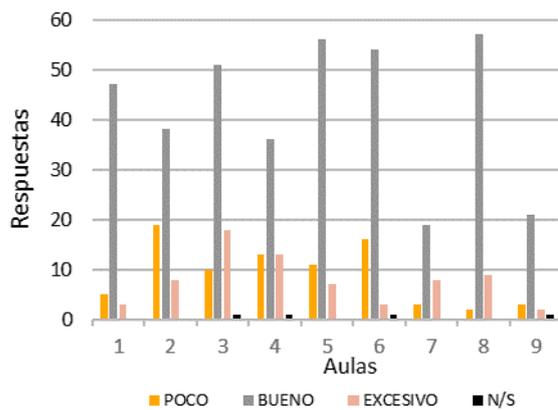


Figura 6-49: ¿Cómo es la iluminación sobre tú mesa de trabajo?. Iluminación Natural

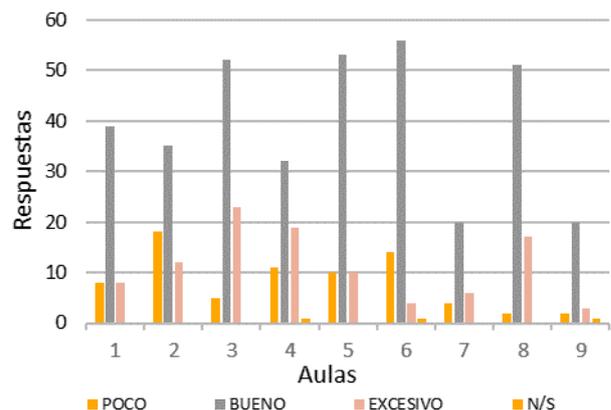


Figura 6-50. ¿Cómo es la iluminación sobre tú mesa de trabajo? Iluminación natural+artificial

Fuente: elaboración propia

Es evidente que existe un factor de acostumbramiento a tales condiciones, ya que, a partir del tipo de cielo, con gran luminancia y con valores excesivos de iluminancia interior, las respuestas sean predominantemente favorables. Por otro lado, habría que estudiar este factor de acostumbramiento en relación a los niveles lumínicos de los hogares de donde provienen los estudiantes como las viviendas en los sectores aledaños (Figura 6-51 y Figura 6-52).



Figura 6-51: Alrededores del colegio 1: Isaías Duarte Cancino –IDC.



Figura 6-52: alrededores del colegio 1, al final de la calle está ubicado el colegio

Fuente: Googlemaps 2019

Frente a la pregunta sobre los reflejos molestos con iluminación natural exclusiva y luego con iluminación artificial complementaria (Figura 6-53 y Figura 6-54 respectivamente), en el aula 5 los estudiantes manifestaron la presencia de reflejos considerados molestos, con iluminación natural y artificial (Figura 6-55). Otras aulas con valoración negativa en este punto, son la 6 y la 8 en coherencia con altos niveles lumínicos hacia las ventanas. Caso contrario a la manifestación alta referida a reflejos molestos en las aulas como la 3 y 4, con bajas iluminancias (Figura 6-56).

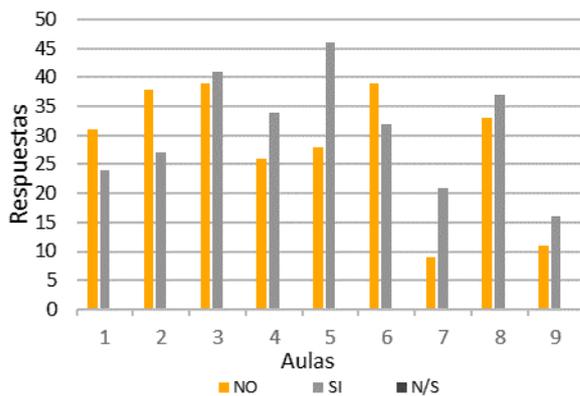


Figura 6-53: ¿Existen reflejos (sol) sobre tú mesa, tablero o ventana? Iluminación natural

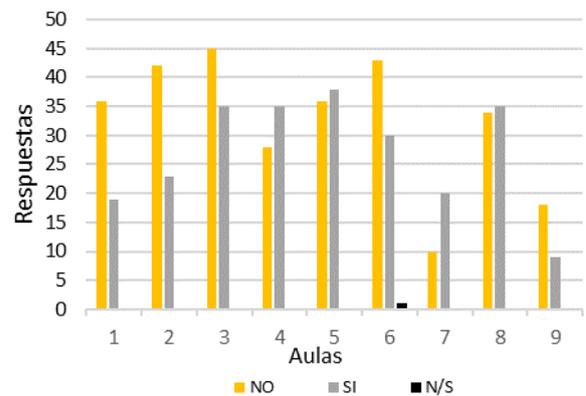


Figura 6-54: ¿Existen reflejos sobre tú mesa, tablero o ventana? Iluminación Artificial



Figura 6-55: Ambiente lumínico aula 5, colegio Nuevo Latir



Figura 6-56: Ambiente lumínico aula 4, colegio Nelson Garcés

Fuente: Archivo de la investigación

Al preguntar sobre la presencia de sombras, se registra una más baja valoración cuando se responde con iluminación natural exclusiva Figura 6-57, a la situación con las luces encendidas

(Figura 6-58), frente a las respuestas con exclusividad de iluminación natural. Sin embargo, en las aulas 1 y 2 del colegio Isaías, se presentan las mayores respuestas negativas (Figura 6-59 y Figura 6-60 respectivamente), como también en el aula 4 en donde también se manifestaron reflejos molestos.

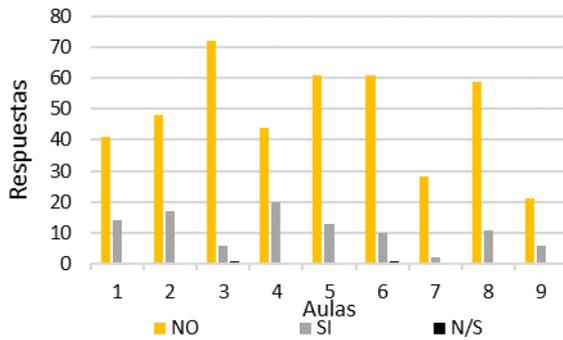


Figura 6-57: ¿Tienes sombra sobre tu mesa, que dificulte tu trabajo? Iluminación natural

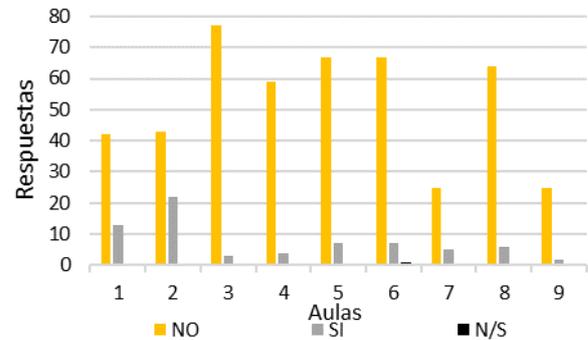


Figura 6-58: ¿Tienes sombra sobre tu mesa, que dificulte tu trabajo? Iluminación Artificial



Figura 6-59: Ambiente lumínico aula 1, colegio Isaías Duarte



Figura 6-60: Ambiente lumínico aula 2, colegio Isaías Duarte

Fuente: Elaboración propia y archivo de la investigación

En cuanto a la molestia expresada por el ingreso de luz (Figura 6-61 y Figura 6-62), en el aula 5 se percibe mayor molestia que aceptación y también se identifica presencia de sol directo sobre la mesa de trabajo (Figura 6-63). En el resto de las aulas hay algunas respuestas que indican inconformidad, pero los porcentajes son menores (Figura 6-64).

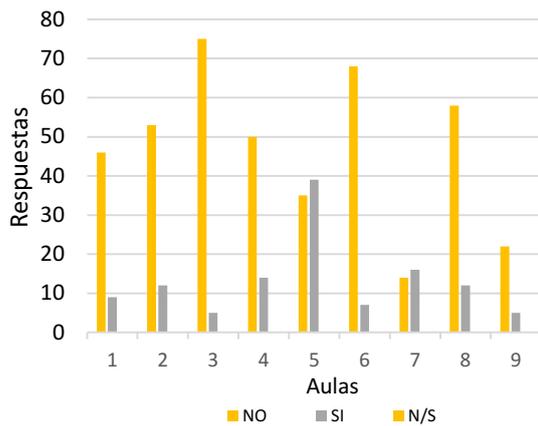


Figura 6-61: ¿Tienes sol directo sobre tú mesa de trabajo?

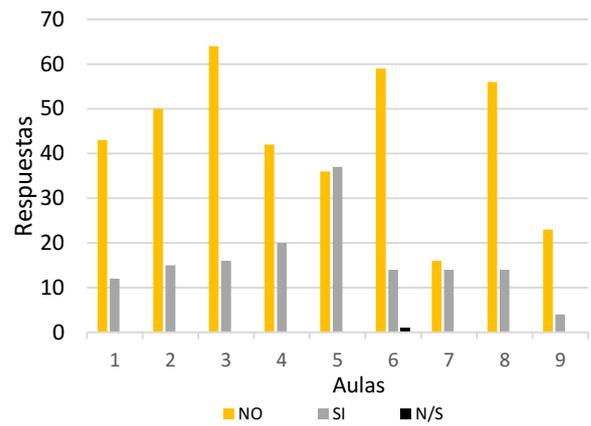


Figura 6-62: ¿La entrada de luz por ventana te genera molestia a los ojos?

Fuente: Elaboración propia



Figura 6-63: Aula 5, colegio Nuevo Latir



Figura 6-64: Aula 4, colegio Nelson Garcés

Por último, las aulas en donde los estudiantes indicaron que nunca es necesario encender las luces, son la 8, 6 y 5, situación coherente con los altos niveles lumínicos registrados al momento de la encuesta, a pesar que la distribución, en el caso de las aulas 5 y 6, no es la mejor como se indicó anteriormente (Figura 6-65). El aula 3 es en donde la mayoría manifestó la necesidad de encender las luces durante el día (Figura 6-66).

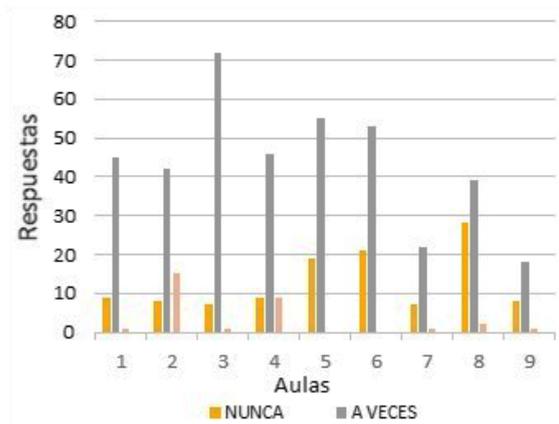


Figura 6-65: ¿Es necesario encender las luces durante el día?



Figura 6-66: aula 3, colegio Nelson Garcés

Fuente: Elaboración propia y archivo de la investigación

Por último, se presentan los resultados del componente auditivo, con la misma lógica de los dos precedentes, desde la auditoria objetiva y de manera posterior, la subjetiva.

6.5. Auditoria objetiva para el confort auditivo

Como bien lo indica la literatura sobre el tema, un aula con diseño acústico adecuado, debe tener en cuenta fundamentalmente parámetros acústicos como el ruido de fondo y tiempo de reverberación (Acoustical Society of America, 2010). A continuación se realiza el análisis de cada uno de estos, así:

6.5.1. Análisis del ruido de fondo

Todas las aulas registraron una media energética del nivel sonoro continuo equivalente con la ponderación A (ruido de fondo) de 74.9 dB, sobrepasando los dos límites definidos por la norma en el año 2000 y 2015 establecidos entre 40 y 45 dB (ICONTEC, 2000). A pesar que todas las aulas sobrepasan los valores indicados por norma Figura 6-67, en el aula 2 del colegio Isaías Duarte, se registra el valor más elevado, lo que puede ser el resultado de estar cerca de la cancha deportiva y a la zona de recreo(Figura 6-68).

También es importante resaltar la condición cultural de la población afrocolombiana, la cual se caracteriza por el alto nivel de la voz, aspecto que junto con los hábitos, la edad y otros, pueden influir en la inteligibilidad de la palabra en el aula (Medina, 2010).

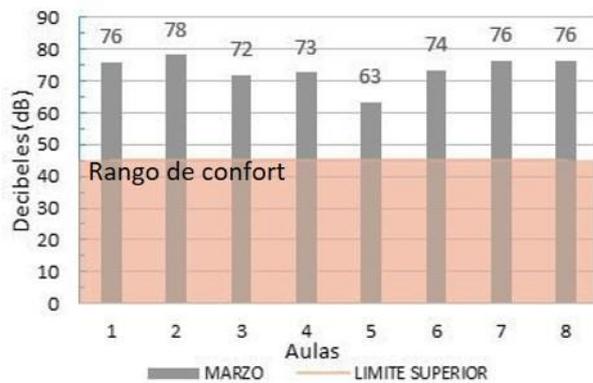


Figura 6-67: Ruido de Fondo (db) medición Marzo



Figura 6-68: Localización del aula 2 cerca de la zona de cancha

Fuente: Elaboración propia

Otras de las aulas con los mayores valores son el aula 1 del mismo colegio y las aulas 7 y 8 del colegio Juana de Caicedo. Estos valores son muy altos, a consecuencia de los amplios vanos en las dos fachadas (Figura 6-69). En el resto de las aulas los valores son muy similares, con excepción del aula 5, con la posibilidad de cerrar la ventana, aula en donde se registran niveles sonoros más bajo, sin llegar a quedar dentro del rango (Figura 6-70). Los valores anteriores se encuentran muy distantes de los 35dB indicados por organizaciones especializadas como la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Son varias las investigaciones que han demostrado el impacto negativo que representan valores excesivos en el ruido de fondo de manera prolongada en el desempeño escolar (Dockrell & Shield, 2006), específicamente las tareas de memoria y lectura (Ljung & Kjellberg, 2009) y, otras que señalan el riesgo de comportamiento agresivos en ambientes con valores por encima de 80dB (Zapata et al., 2018).



Figura 6-69: aula 7, colegio Juana de Caicedo



Figura 6-70: Aula 5 colegio Nuevo Latir

Fuente: Archivo de la investigación

En general las características de las aulas en el contexto tropical, como son las del estudio, es la de presentar envolventes muy permeables a las condiciones exteriores, lo que pretende beneficiar en los temas térmicos, pero con un impacto negativo en los temas acústicos. Todas las aulas de los colegios presentan una envolvente:

- Con permeabilidad alta: Grandes áreas de vanos sin presencia de vidrio o sin la posibilidad de cerrar en algún momento del día. Aulas 1 y 2 colegio Isaías Duarte y las aulas 7 y 8 colegio Juana
- Con Permeabilidad media: Presencia de ventanales con vidrio y algunas áreas abiertas, con algunas zonas sin vidrio en ambas fachadas. Aulas 3 y 4.
- Con permeabilidad baja: Presencia de ventanales con vidrio y área reducida abierta en una de sus fachadas. La fachada hacia el corredor se puede cerrar. Aulas 5 y 6.

Si bien las aulas 5 y 6 tienen la posibilidad de cerrar las ventanas durante la jornada de clase, con un porcentaje de área permeable en persianas sin vidrio y, siendo las más “herméticas” del estudio, presentan niveles de ruido de fondo (media energética entre 63 y 74dB) que sobrepasan -al igual que en las demás- los máximos recomendados por la norma. Las 7 y 8 registraron los valores más altos, con una media energética de 76.3 dB, lo que evidencia el impacto de grandes vanos sin vidrio en las dos caras expuestas del aula. Estos valores son consistentes con estudios previos con resultados similares (Zapata et al., 2018), (Tabla 6-15).

Tabla 6-15: Permeabilidad de la envolvente y condiciones del exterior

Fachada principal	Fachada al corredor	Condición al exterior
<i>Aulas 1 y 2, Colegio 1 Isaías Duarte Caicedo-IDC</i>		
<i>Aulas 3 y 4, Colegio Nelson Garcés Vernaza-NGV</i>		
<i>Aulas 5 y 6, Colegio Nuevo Latir-NL</i>		
<i>Aulas 7 y 8, Colegio Juana de Caicedo y Cuero-JCC</i>		

Fuente: Archivo de la investigación

Como se observa en la Tabla 6-15 las aulas mencionadas anteriormente, se encuentran en situaciones externas ruidosas, debido a cercanía a la vía principal y zona comercial (aulas 5 y 6), así como a la plaza de mercado (para las 7 y 8), en las que habría que aplicar elementos de corrección de las condiciones acústicas del contexto (Konya, 1980). Las demás se encuentran en zonas de bajo ruido, residencial (aulas 3 y 4) y en el límite de la ciudad (aulas 1 y 2).

Como se puede observar, el tema acústico es uno de lo más sensibles del confort, ya que todos los valores exceden los límites recomendados. Esta conclusión es similar a estudios realizados en otros países latinoamericanos como: Argentina, Chile, Costa Rica, República Dominicana y Colombia (San Juan, et al., 2014).

6.5.2. Análisis de la reverberación

En cuanto al tiempo de reverberación, los valores registrados alcanzaron el promedio de 1.39 segundos con mobiliario, cuando el rango permitido por la norma NTC 4595 está entre 0.90 y 1.0 (ICONTEC, 2000) y muy superior a los valores entre 0.6 y 0.7 recomendado por normas internacionales (Acoustical Society of America, 2010) En la medición de la condición más crítica del aula, sin mobiliario, el promedio se elevó a 1.65 segundos (Figura 6-71).

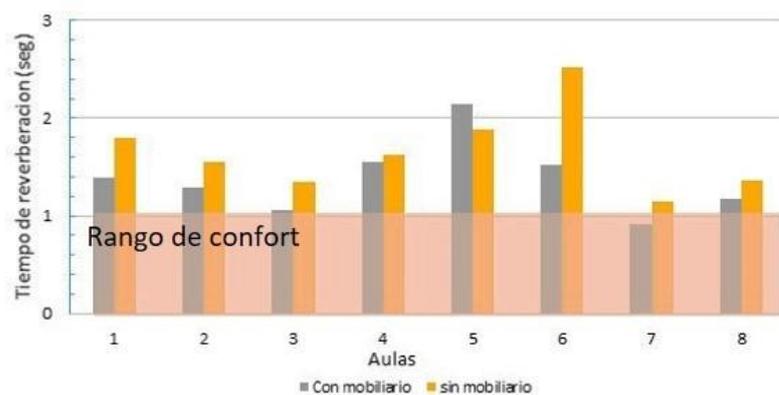


Figura 6-71: Tiempo de reverberación (seg). Medición Marzo
Fuente: Elaboración propia

La mayoría de las aulas, por estar abiertas, presentan valores cercanos a la norma en tiempo de reverberación, no por acondicionamiento sino por estar tan expuestas al exterior, lo que afecta el ruido de fondo (Figura 6-72). Las aulas más cerradas 5 y 6 presentan los valores más

altos producto de bajos niveles de absorción acústica, caso que sería similar si el resto de las aulas tuvieran un nivel de cerramiento cercano al que presentan estas aulas (Figura 6-73).

Las Aulas 7, 8 y 9 son las más cercanas al rango, no por su acondicionamiento, sino por su alta permeabilidad con el exterior, lo que hace que el sonido no permanezca dentro del recinto, sin embargo, esta condición va en detrimento directo del alto ruido de fondo (Figura 6-72). Como se presenta en la Tabla 6-16, el porcentaje de área abierta en la fachada –sin posibilidad de cerramiento- tiene los mayores porcentajes en estas aulas (entre 30% y 40% en cada fachada), lo que, sin la posibilidad de cerrarse, las hace presentar las condiciones acústicas que se encuentren en su contexto.



Figura 6-72: Aula 7, colegio Juana de Caicedo



Figura 6-73: aula 6, colegio Nuevo Latir

Fuente: archivo de la investigación

Por otro lado, las aulas 5 y 6 del colegio Nuevo Latir también presentan alta permeabilidad con porcentaje de 26% del área abierta en la fachada principal (Tabla 6-16). Sin embargo, a pesar que estas aulas tienen la posibilidad de quedar completamente cerradas, la falta de acondicionamiento interior, impide que el tiempo de reverberación quede dentro del rango.

Las aulas 1 y 2, 3 y 4 de los colegios Isaías Duarte y Nelson Garcés, presentan porcentajes similares en sus fachadas principal y hacia el corredor, representando entre el 27% y 30% del área libre con respecto al área cerrada (Tabla 6-16). A pesar que las aulas 3 y 4 tienen la posibilidad de cerramiento de las ventanas, y que mejora levemente la reverberación, los valores no cumplen con el rango indicado.

Tabla 6-16: Características de los materiales de las aulas

Aula	Foto materiales interior	Total material cerrado y abierto	
AULAS 1 y 2			
<i>Colegio Isaías Duarte Caicedo-IDC</i>			
AULAS 3 y 4			
<i>Colegio Nelson Garcés Vernaza-NGV</i>			
AULAS 5 y 6			
<i>Colegio Nuevo Latir-NL</i>			
AULAS 7, 8 y 9			
<i>Colegio Juana de Caicedo y Cuero-JCC</i>			

Fuente: elaboración propia y archivo de la investigación

6.6. Auditoria subjetiva para el confort auditivo

En el tema del confort auditivo, al preguntar a los estudiantes acerca de *¿Cómo escuchan las voces en una clase?*, la mayoría respondió negativamente, indicando que no se escuchan, reforzando la afirmación que una inadecuado acondicionamiento del aula, afecta el entendimiento del discurso (Pelegrín-García & Brunskog, 2012). La valoración negativa más alta se centró en las aulas 5 y 6 del colegio Nuevo Latir, y en el aula 3 del colegio Nelson Garcés (Figura 6-74). En general las aulas no presentan ningún tipo de acondicionamiento acústico, con materiales al interior con acabados lisos y pintados (en el caso de Nuevo Latir), y bloque de ladrillo pintado (colegio Nelson Garcés).

En cuanto a la molestia derivada por las voces de los compañeros en el aula, la valoración también fue negativa en casi todos los salones, con excepción del aula 6 en donde las opiniones estuvieron similares (Figura 6-75), producto de la presencia de ecos y ruidos molestos, los que impiden la escucha en la actividad de clase (Kumar, 2009).

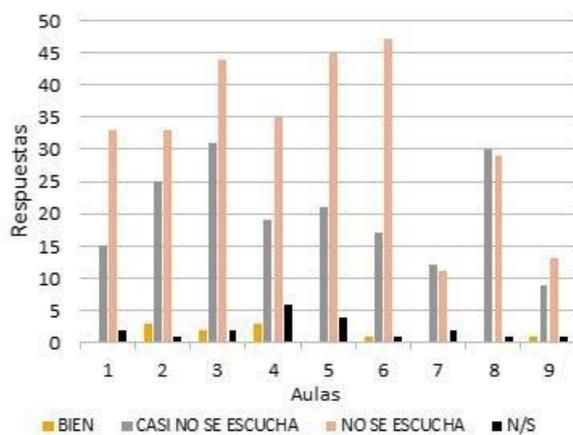


Figura 6-74: ¿Cómo escuchas tú las voces en una clase?

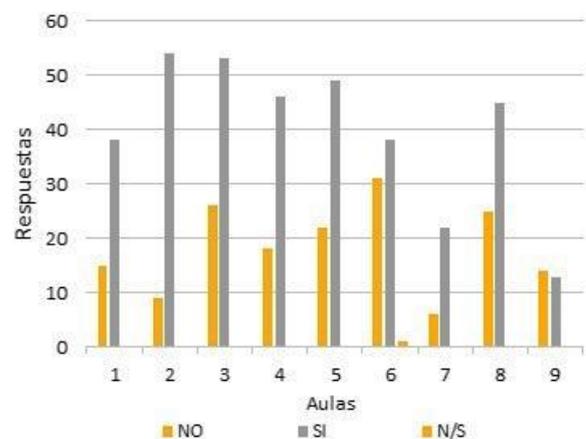


Figura 6-75: El sonido de voces te molesta en clase?

Fuente: elaboración propia

Frente a la pregunta sobre ruidos molestos, la mayoría expresó la presencia de ruidos (siendo más bajas las respuestas en las aulas 7 y 9 del colegio Juana de Caicedo) como se presenta en la Figura 6-76. Cuando se interrogó sobre la procedencia, los estudiantes manifestaron que los ruidos más molestos provienen de los demás salones. El resto de las opciones contaron con valoraciones similares (Figura 6-77).

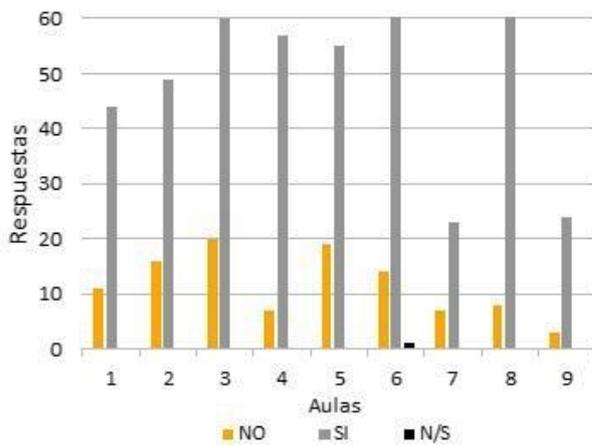


Figura 6-76: ¿Hay ruidos molestos en tu salón o cerca?

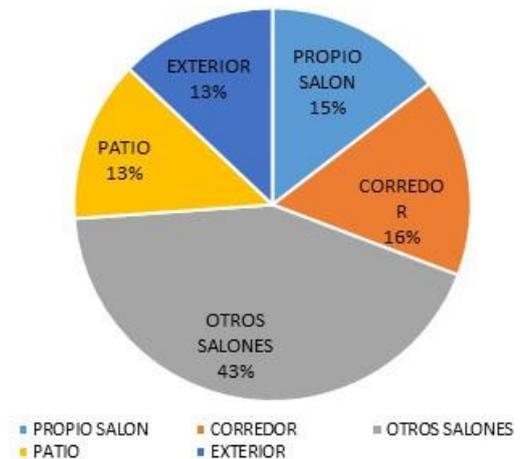


Figura 6-77: ¿De dónde vienen los ruidos?

Fuente: Elaboración propia

Por último, al indagar por la continuidad de los ruidos molestos, de manera preocupante los estudiantes manifestaron que se escuchan entre tres veces al día y de manera continua, lo que indica que la presencia de los ruidos es permanente en la jornada escolar (Figura 6-78), con los riesgos en la actividad de enseñanza y aprendizaje señalados anteriormente Dockrell & Shield (2006).



Figura 6-78: ¿En qué forma se escucha?

Fuente: Elaboración propia

Los resultados arrojados por la AAPU, son la base para el análisis de las recomendaciones de diseño realizada por la norma NTC 4595 y poder identificar las más acertadas al momento de lograr espacios confortables.

CAPITULO 7

7. NORMA NTC 4595: CUMPLIMIENTO Y CONFORT

La evaluación de la norma colombiana NTC 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares (ICONTEC, 2000) y su relación con las condiciones de confort en las aulas estudiadas, se basa en:

- La ponderación del cumplimiento de la norma en cada una de las aulas del estudio, ponderación explicada en detalle en el Capítulo 5 de Metodología para abordar el problema. A cada una de las recomendaciones de la norma, se le otorga un punto positivo o negativo en función de su cumplimiento, para obtener finalmente porcentajes generales de cumplimiento.
- Entrevistas a los estudios de arquitectura encargados del diseño, como también a los profesionales encargados de la gestión, mantenimiento y construcción de los colegios en Cali.

A continuación se presenta el análisis de las categorías de las recomendaciones de diseño de la norma presentadas en el Capítulo 5 (Figura 7-1), a partir de cada uno de los grandes temas de comodidad de la norma (térmico, visual y auditivo), presentando desde las recomendaciones que alcanzan mayor cumplimiento hasta las que quedan con cumplimiento bajo:

		COMPONENTES DEL CONFORT		
		TERMICO	VISUAL	AUDITIVO
ALTERNATIVAS DE DISEÑO NORMA NTC 4595	1	Aberturas Relación con el área 1/6m, 1/9m	Relación con el área 1/5. 60% + si hay protección	
	2	Protección radiación Aleros y persianas en orientación distinta a norte-sur		
	3	Materiales Alternativas desde factor de ganancia solar Materiales con masa de 0.15 m Si la cubierta es placa delgada + cielorraso. Cubierta maciza con material reflejante	Alternativas desde coeficientes de reflexión de luz	Alternativas desde la absorción acústica Materiales absorbentes en lo alto de paredes Cielorraso con atenuación sonora aulas de últimos pisos
	4	Orientación Superficies norte-sur 45° para los vientos. Superficies hacia norte-sur		
	5	Contexto Ventilación del exterior	Separación entre edificios Dimensión de Patios	Agrupación de espacios

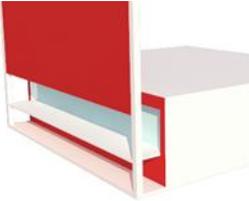
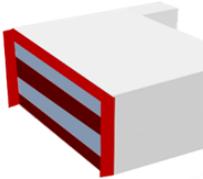
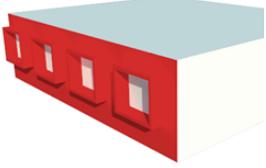
Figura 7-1: Recomendaciones de diseño norma NTC 4595 (2000). Fuente: elaboración propia

7.1. Comodidad térmica

	TERMICO	VISUAL	AUDITIVO
1 Aberturas			
2 Protección			
3 Materiales			
4 Orientación			
5 Contexto			

La recomendación con mayor cumplimiento es el **área de las aberturas** (en la relación: área de ventana / área de piso), la cual es mayor a la recomendada por la norma, en todos los casos analizados. Este aspecto se asume como positiva al contar con mayor área para ventilación (Tabla 7-1).

Tabla 7-1: Caracterización de aberturas para ventilación

Colegio	Isaías Duarte		Nelson Garcés		Nuevo Latir		Juana de Caicedo	
Aula	1	2	3	4	5	6	7	8
FACHADA EXPUESTA HACIA EL EXTERIOR								
	Persianas sin vidrio		Ventana y calado		Ventana y Persiana		Abertura sin vidrio	

Fuente: elaboración propia



Otro de los temas con cumplimiento alto es la **toma del aire directamente desde el exterior**, mejorando la ventilación cruzada y la presencia de elementos de protección solar, mejorando en ambos casos la ventilación cruzada Figura 7-2 y Figura 7-3.

Se debe aclarar que la ventilación cruzada o entrada de aire, no es favorable en todos los días y casos analizados, fundamentalmente a partir de que durante el día la temperatura exterior puede estar por encima de la temperatura interior (más allá de la velocidad del aire promoviendo el refrescamiento), implicando entrada de aire caliente al local.

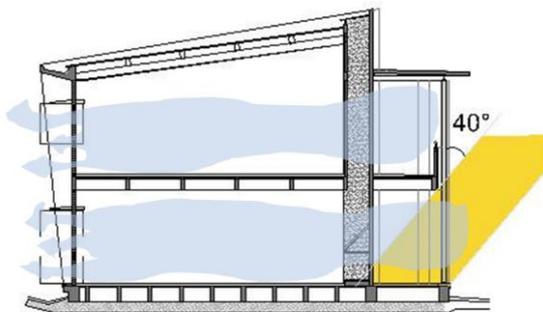


Figura 7-2: Ventilación cruzada aula 1 y 2. Colegio Isaías Duarte Caicedo

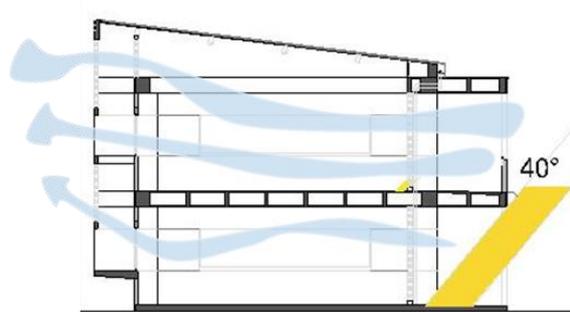
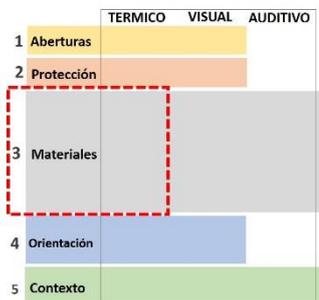


Figura 7-3: Ventilación cruzada aula 1 y 2. Colegio Nelson Garcés

Fuente: elaboración propia

La recomendación de la norma para el área de las aberturas es de 1/6 en relación con el área de la planta. En todas las aulas el área de las aberturas excede la dimensión propuesta por la norma, situación que frente a la condición climática de Cali, se asume como positivo. También, se registra un alto cumplimiento de las aulas en la presencia de elementos de control solar de

fachada, con excepción de las aulas 5 y 6, las cuales presentan la fachada expuesta al exterior con mínimos elementos de protección frente a la radiación solar directa (Tabla 7-1).



Otro de los temas abordados para la comodidad térmica es el **factor de ganancia solar (FG)**¹. En términos de la norma NTC 4595: $FG \leq 5\%$ si la orientación es \neq al eje N-S, y $FG \leq 7.5\%$ si la orientación es $=$ al eje N-S.

Lo que significa, que una vez determinada la incidencia de q_s se debe DISEÑAR una configuración de pared en la que q_{in} sea $\leq 3 \text{ W/m}^2$, y además, que cuando se divida por q_s la proporción sea $\leq 5\%$ (o 7.5%). El principal parámetro de diseño es U, y varía con la disposición arquitectónica de la pared. Los valores establecidos por la norma explicados anteriormente, son arbitrarios y tienen la intención de que las paredes provean suficiente aislamiento térmico para obtener confort al interior.

El último de los temas analizados con alto cumplimiento es en el **factor de ganancia solar**² en paredes no expuestas al eje norte-sur. Como se puede observar en la Figura 7-4, todas las aulas con cerramiento en bloque estructural de concreto, quedan cercanas al cumplimiento del 5%, máximo valor admisible.

Las únicas aulas que no cumplen, son la 1 y la 2 en bloque de ladrillo cerámico del colegio Isaías, con factor de ganancia solar de 9.5% (Figura 7-5). El valor de ganancia solar para el ladrillo del colegio Isaías de 12 cm, se toma como un valor de referencia de 9.5% indicado por

¹ **Factor de Ganancia (FG):** concepto que indica la proporción de calor que gana un espacio interior, comparado con la que incide en la pared externa expuesta al sol. $FG = \frac{\text{Calor ganado espacio interior } (q_{in})}{\text{Calor incidente solar } (q_s)}$. (q_s) es un valor fijo para una hora determinada, el cual depende de la orientación, posición geográfica y valores como la nubosidad lo pueden afectar. El $(q_{in}) = U(T_{sol,air} - T_{in})$ (ecuación 21-17 en Cengel & BOLES (2009)). Disminuir la ganancia equivale a disminuir (q_{in}) . El **(FG)** también se puede expresar como $FGS = \frac{Q_{wall,solar}}{Q_{solar}} = \frac{q_{in}}{q_{sol}} = U \frac{\alpha_s}{h_o}$ (ecuación 21-19 en Cengel & BOLES (2009)), donde α_s =absortividad pared expuesta, h_o =coeficiente convección externo ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$), y U es coeficiente de transferencia de calor de la pared ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$) y depende de la configuración arquitectónica de la pared.

la norma para un ladrillo tolete de 25 cm, el cual es el único especificado para dicho tipo de material.

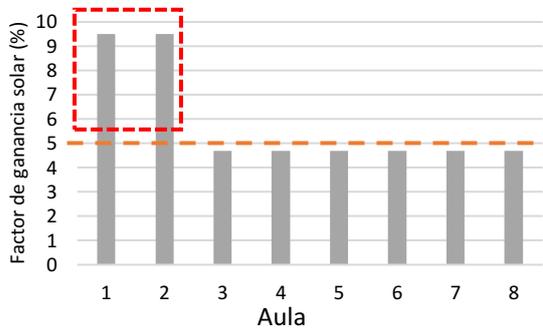
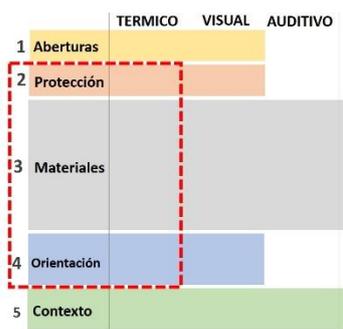


Figura 7-4 Factor de ganancia solar para paredes no perpendiculares al eje norte-sur



Figura 7-5: Interior del aula 2 Colegio Isaías Duarte

Fuente: elaboración propia



Por el contrario, los temas en los que las aulas estudiadas presentan un menor cumplimiento en función de la norma, es la **orientación de las superficies** perpendiculares al eje norte-sur, o a 45° con respecto a la dirección del viento (Figura 7-6 y Figura 7-7) y la **presencia de elementos que conduzcan el viento** cuando el ángulo es diferente (Figura 7-8)

Otro de los temas con menor cumplimiento es la **presencia de cielo raso**, aplicado a la cubierta o suspendido con cámara de aire, cuando ésta es en placa delgada (Figura 7-9).

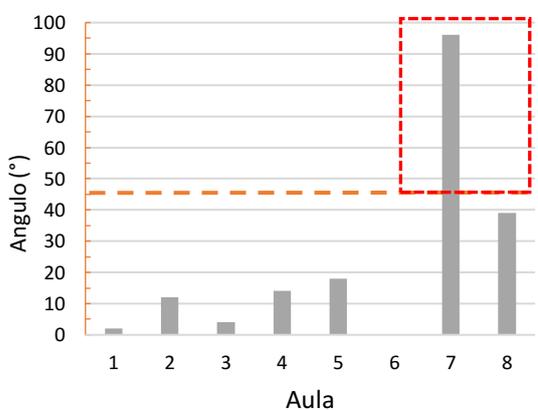


Figura 7-6: Angulo de incidencia del viento en las aberturas, resaltadas las aulas del Colegio Juana de Caicedo

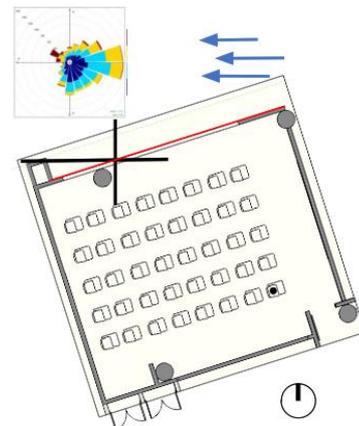


Figura 7-7: Incidencia del viento sobre el aula 6 Colegio Nuevo Latir



*Figura 7-8: Elementos de fachada en el aula 1
Colegio Isaías Duarte*



*Figura 7-9: Cubierta en placa delgada a la vista,
aula 6, Colegio Nuevo Latir*

Fuente: elaboración propia

En la Figura 7-10 se muestra la síntesis del cumplimiento de las aulas, el cual en su mayoría es de cumplimiento medio (40% a 60%). Las aulas con cumplimiento medio corresponden a los colegios Isaías Duarte (1 y 2) y al Nuevo Latir (5 y 6). Y las de mayor cumplimiento corresponden al colegio Nelson Garcés (3 y 4) y Juana de Caicedo (7 y 8), con las estrategias arquitectónicas de doble fachada y calados (Nelson Garcés) y aberturas en las dos fachadas expuestas (Juana de Caicedo), en común, con áreas de aberturas sin vidrio, lo que garantiza la ventilación cruzada las 24 horas del día.

En los casos de las aulas con menor cumplimiento, están las aulas materializadas en ladrillo, con mayor ganancia solar, del colegio Isaías y las aulas del colegio Nuevo Latir, con las mayores áreas de ventanas con vidrio, sin elementos de protección. Las aulas de los dos colegios tienen en común una adecuada orientación frente al eje norte- sur, como también frente al ángulo para el aprovechamiento de los vientos.

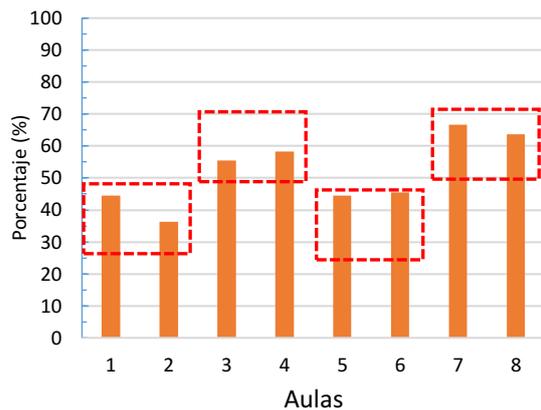


Figura 7-10: Cumplimiento de la comodidad térmica en las aulas

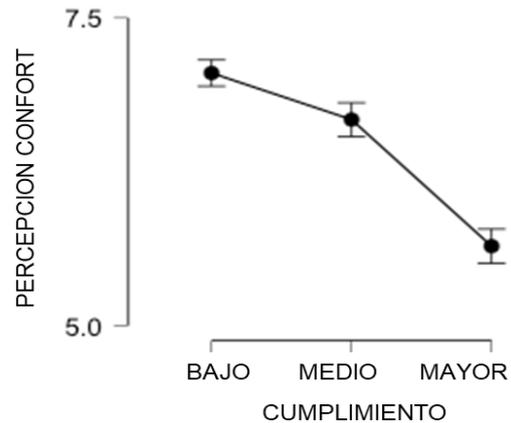


Figura 7-11: Relación entre percepción de confort del usuario y cumplimiento de norma

Fuente: elaboración propia

La relación entre el cumplimiento de la norma y la percepción de confort térmico por parte del usuario, resultó inversa, dado que el grupo con la mayor percepción de confort térmico correspondió al de más bajo cumplimiento de la norma y los grupos con menor percepción de confort fueron los grupos con el cumplimiento a nivel medio, siendo el de menor percepción, el de más alto cumplimiento (Montoya, 2019) (Figura 7-11). Lo anterior evidencia que la percepción del confort térmico, no guarda relación directa, más bien en este caso, inversa, con el cumplimiento de las recomendaciones de la norma en las aulas.

7.2. Comodidad visual



Los temas que plantea la norma en los que hay mayor cumplimiento son los **niveles promedio de iluminancia** superiores a 300 lux (ver las gráficas de niveles de iluminancia en el capítulo 6.3. Auditoría subjetiva para el confort visual. Día de la encuesta) y la iluminación natural proveniente directamente del exterior.

También se presenta un alto cumplimiento en la **distancia entre el tablero o pizarra, y la primera** fila a 2m, y la distancia entre el tablero y la última fila a 9 m; la iluminación en pared opuesta a la de la ventana, cuando el ancho es mayor a 6 m, y la ubicación de tableros en las superficies sin aberturas.



Además, las aulas de los colegios estudiados cumplen con la **presencia de elementos de protección** en fachada, cuando no se encuentran perpendiculares al eje norte-sur. Existen persianas y aleros en las aulas 1 y 2 del Isaías Duarte (Figura 7-12) y una doble fachada con calados en las aulas 3 y 4 del Nelson Garcés (Figura 7-13).

Se evidencian elementos de protección vertical y horizontal en las aulas 7 y 8 de la Juana de Caicedo (Figura 7-14), y alero en las aulas del piso alto de Nuevo Latir (Figura 7-15).



Figura 7-12: Fachadas Colegio Isaías Duarte, aulas 1 y 2



Figura 7-13: Fachada del Colegio Nelson Garcés, aulas 3 y 4



Figura 7-14: Fachada del Colegio Juana de Caicedo, aulas 7 y 8



Figura 7-15: Fachada del Colegio Nuevo Latir, aulas 5 y 6

Fuente: Archivo de la investigación



Otro de los temas en que se presenta entre alto y medio cumplimiento, son en los **coeficientes de reflexión de las superficies de cerramiento**, las cuales deben cumplir con la disposición siguiente para cada uno de las superficies al interior del aula:

Tabla 7-2: Coeficientes de reflexión de la luz en superficies interiores (NTC 4595)

Componente	Coeficiente de reflexión de la luz
Pisos	15%-30%
Paredes distintas pero no enfrentadas a las paredes con aberturas	50%-70 %
Paredes con aberturas	Mínimo 74%
Cielo raso	Mínimo 80%

Fuente: elaboración propia

En las aulas, las superficies de paredes con aberturas y las enfrentadas a estas, presentan en su mayoría superficies de color claro, cumpliendo con la norma, mientras las aulas con ladrillo visto como la 1 y 2, presentan porcentajes de 13%, inferiores a lo recomendado, (Figura 7-16 y Figura 7-17).

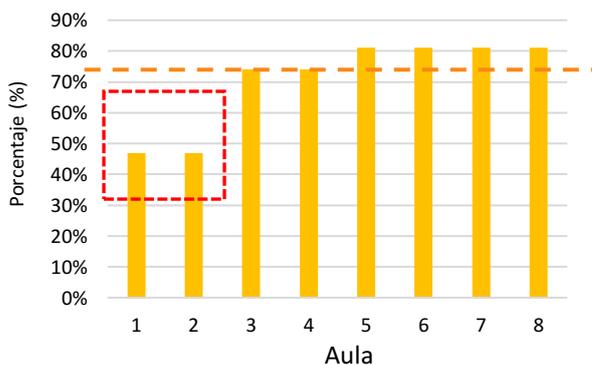


Figura 7-16: Coeficiente de reflexión en paredes con aberturas o enfrentadas a estas



Figura 7-17: Acabado interior aula 1

Fuente: elaboración propia

Las aulas 3 y 4 del colegio Nelson Garcés alcanzan a quedar en cumplimiento, ya que el color crema de las superficies, representa el 74% de coeficiente de reflexión indicado por la norma (Figura 7-18). El acabado blanco presenta el más alto coeficiente (81%) (Figura 7-19).



Figura 7-18: Aula 3 colegio Nelson Garcés



Figura 7-19: aula 5 colegio Nuevo Latir

Fuente: Archivo de la investigación

En el caso de las paredes diferentes a las de las ventanas (pero no enfrentadas a estas), el 50% de las aulas cumplen (Figura 7-20). Las aulas 1 y 2 de los colegios Isaías Duarte y 7 y 8 de Juana de Caicedo (Figura 7-21) no cumplen, al tener materiales como ladrillo visto (13%) y Bloque de concreto visto (25%), quedando por debajo del coeficiente de reflexión que recomienda la norma.

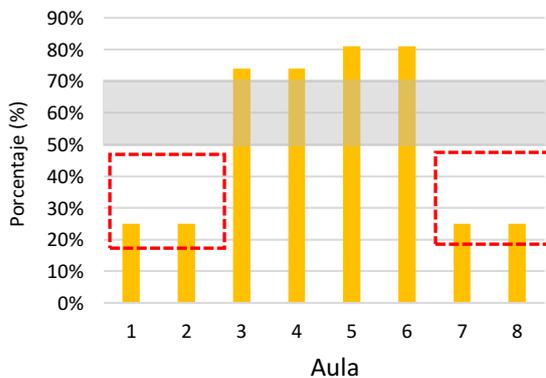


Figura 7-20: Coeficiente de reflexión en paredes distintas pero no enfrentadas a las aberturas



Figura 7-21: Acabado superficies aula 7

Fuente: elaboración propia



Otro de los temas con el 50% del cumplimiento, son **la separación entre edificaciones** (Figura 7-22 y Figura 7-23), y el factor de luz día (FLD), el cual resulta para la mitad de las aulas en 1.15% por debajo del 2% recomendado (Desarrollado en el capítulo 6.3.4. Análisis del Factor de luz día -FLD)

Otros de los valores con la mitad del cumplimiento son el coeficiente de reflexión en los cielorrasos y el **ángulo mínimo de 30% desde el tablero al observador**, esto último evidencia que indica que algunas de las aulas son más estrechas que lo recomendado por la norma (Figura 7-24 y Figura 7-25).

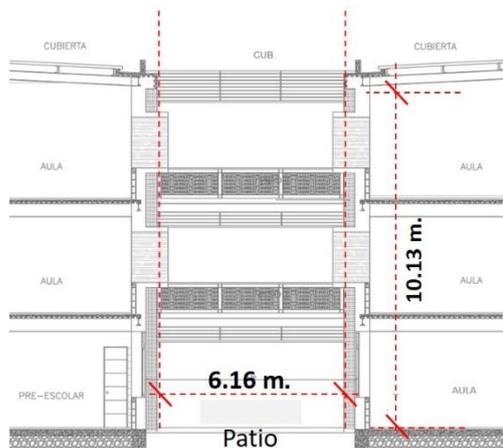


Figura 7-22: Separación entre edificaciones, colegio Juana de Caicedo



Figura 7-23: Patio interior, colegio Juana de Caicedo

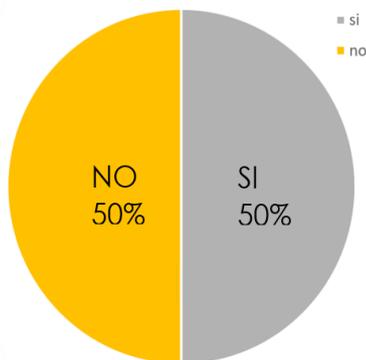


Figura 7-24: Ángulo de visión tablero y el observador (No cumple / Si cumple)

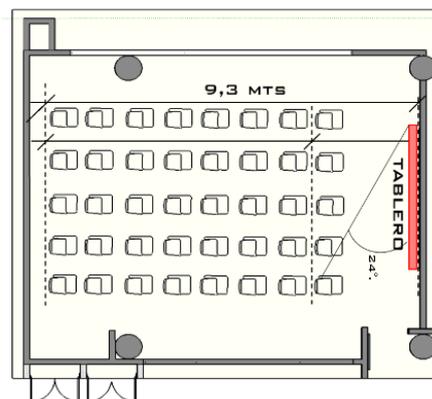


Figura 7-25: Ángulo de visión aula 6, Colegio Nuevo Latir

Fuente: Archivo de la investigación y elaboración propia



Entre los temas con menor cumplimiento, se registra el **área de las aberturas** (Tabla 7-3), las cuales a pesar de cumplir para el tema térmico, no cumplen en el visual, debido a que la mayoría de los casos superan el mínimo recomendado, lo cual puede implicar un mayor deslumbramiento, como también, una mayor incidencia solar directa al interior del espacio.

El área que más se acerca a lo recomendado por la norma es la de las aulas 3 y 4 del colegio Nelson Garcés con 11.2m², siendo lo recomendado por la norma 13.1m² (8% menor).

Tabla 7-3: Área de aberturas en los colegios para la comodidad visual

Colegio	Aulas	Área aula (m ²)	Vanos existentes		Propuestos por norma	
			Relación	Área (m ²)	Relación	Área (m ²)
Isaías Duarte	1 Y 2	61.9	1/4	13.9		12.4
Nelson Garcés	3 Y 4	60.8	1/5.4	11.2	1/5 del área	12.1
Nuevo Latir	5 Y 6	87.3	1/4	22.1		17.5
Juana de Caicedo	7 Y 8	60.5	1/2	32.2		10.1

Fuente: elaboración propia



Temas con bajo cumplimiento también son: el **ángulo de fachada respecto al eje norte y sur** (Figura 7-26, y Figura 7-27), el cual en todos los casos no es perpendicular a dicho eje, lo que incide en la orientación de las aberturas. También el **porcentaje de uniformidad (U_o)**, con un promedio de 20%, cuando la norma recomienda 60% (Figura 7-28).

Esto indica, que, si bien se alcanza el nivel de iluminancia promedio en el aula, ésta no se distribuye de manera uniforme, como son los casos del aula 6 con iluminancias promedio superiores a 300 lux (Figura 7-29), y el aula 4 con iluminancias promedio por debajo de los 300 lux, (Figura 7-30 y Figura 7-31).

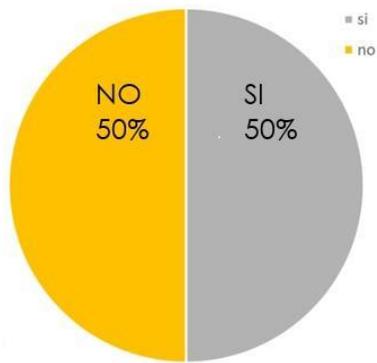


Figura 7-26: Eje de fachada respecto al eje norte sur (Perpendicular 90°)

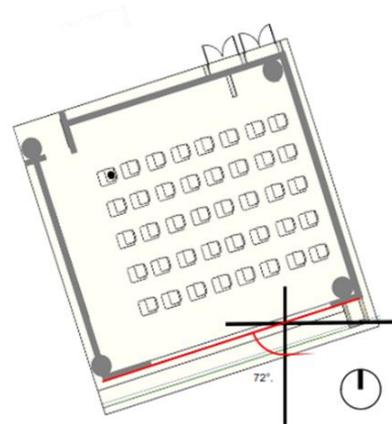


Figura 7-27: Ángulo de fachada respecto al norte, aula 5

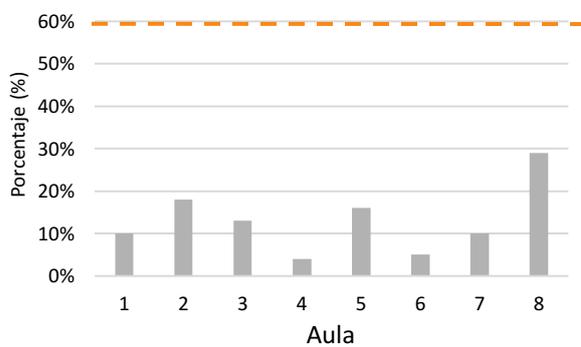


Figura 7-28: Uo Porcentaje de Uniformidad (Uo)



Figura 7-29: interior de aula 6 Colegio Nuevo Latir

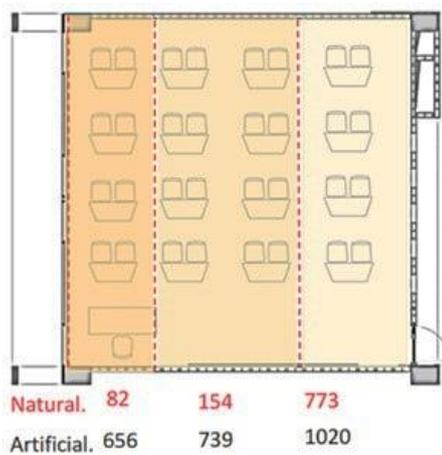


Figura 7-30: Niveles de iluminancia al momento de la encuesta en planta, aula 4 Colegio Nelson Garcés



Figura 7-31: Niveles de iluminancia al momento de la encuesta, aula 4 Colegio Nelson Garcés

Fuente: Elaboración propia y archivo de la investigación

En general las aulas cumplen con porcentajes entre medio-alto (40% a 60%), resaltado en la Figura 7-32. Paradójicamente, los porcentajes más bajos se presentan en aulas de dos ambientes visuales muy diferentes entre sí, las aulas 1 y 2 (Isaías Duarte) con fachada en persiana y materiales oscuros y opacos y las aulas 5 y 6 (Nuevo Latir) con las mayores áreas de ventanas, sin elementos de protección solar en fachada y acabados claros en su interior.

Las aulas con porcentaje de cumplimiento un poco más elevado, son las aulas 3 y 4 (Nelson Garcés) con la condición de doble fachada y las 7 y 8 (Juana de Caicedo); estas aulas tienen en común, los acabados claros en su interior y áreas de aberturas repartidas en la fachada hacia el exterior y la expuesta a la galería o corredor.

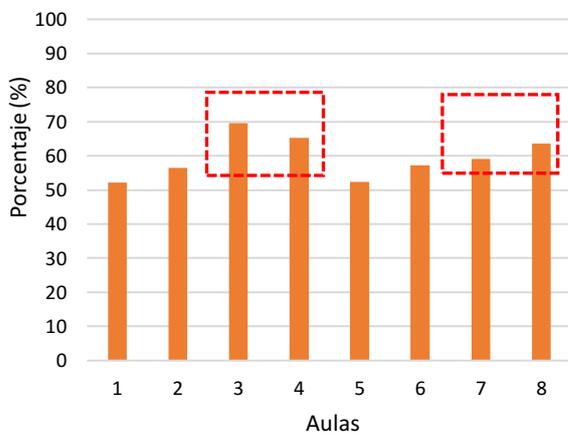


Figura 7-32: Cumplimiento de la comodidad visual en las aulas

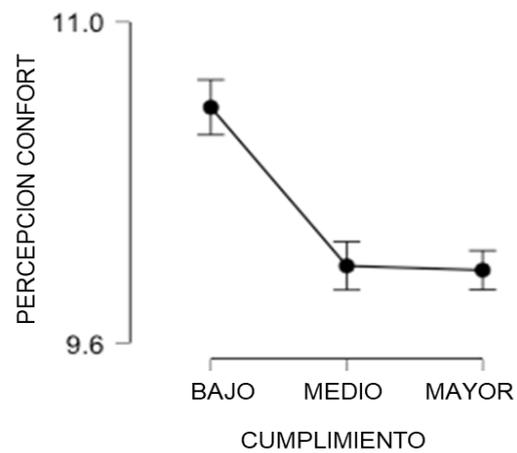


Figura 7-33: Relación entre percepción de confort del usuario y cumplimiento de norma

Fuente: elaboración propia

La relación entre el cumplimiento de la norma y la percepción de confort del usuario, resultó inversa, dado que el grupo con la mayor percepción de confort visual correspondió al de más bajo cumplimiento y los grupos con menor percepción de confort fueron los de cumplimiento medio y alto (Figura 7-33). Lo anterior evidencia que la percepción del confort visual, no guarda una relación directa con el cumplimiento de la norma en las aulas (Montoya, 2019).

7.3. Comodidad auditiva

	TERMICO	VISUAL	AUDITIVO
1 Aberturas	[Barra amarilla]		
2 Protección	[Barra naranja]		
3 Materiales	[Barra gris]		
4 Orientación	[Barra azul]		[Barra verde]

El tema con mayor cumplimiento es **la agrupación que se hace de los distintos ambientes** en cada uno de los casos de estudio, a continuación, se muestra en las *Figura 7-34 a la Figura 7-37* en la distribución general, señalando los espacios que son diferentes, como oficinas, biblioteca y coliseos.



Figura 7-34: Colegio 1 Isaías Duarte, aulas 1 y 2



Figura 7-35: Colegio 2, Nelson Garcés Vernaza

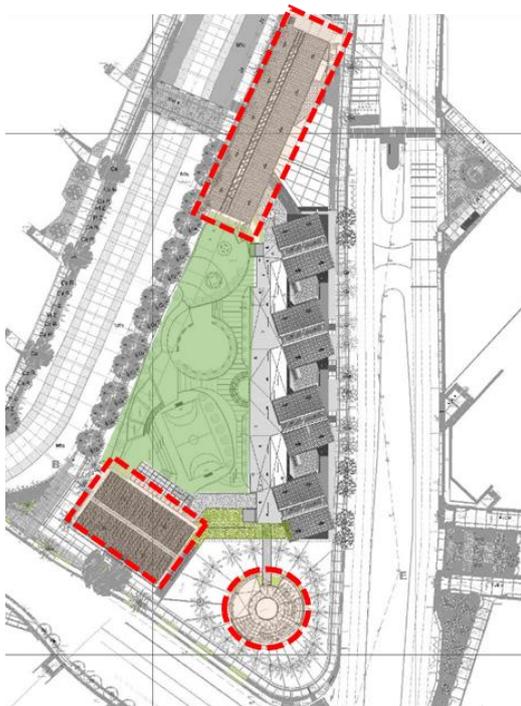


Figura 7-36: Colegio Nuevo Latir, aulas 5 y 6



Figura 7-37: Colegio Juana de Caicedo

En **rojo** los espacios diferentes a las aulas.

Fuente: Elaboradas a partir de planos suministrados por la SEM

El tema en el que se presenta la mitad del cumplimiento es en la **distancia máxima a la fuente sonora** requerida en 8m (Figura 7-38). Ejemplos como el caso del Isaías Duarte, cumplen con la normativa (Figura 7-39), mientras otros quedan justo en el límite o con distancias superiores como en las aulas 7 y 8.

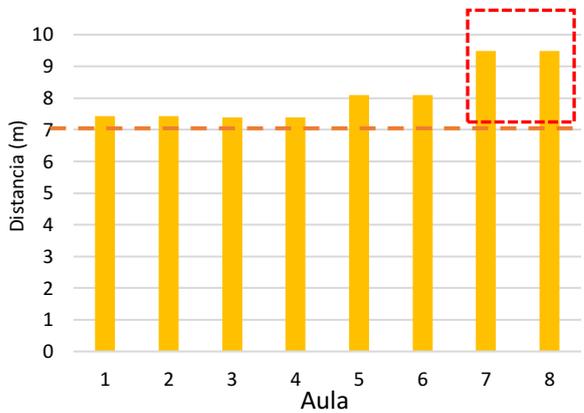


Figura 7-38: Distancia máxima a la fuente sonora las aulas



Figura 7-39: distancia máxima de la fuente sonora, aula 2. Colegio Isaías Duarte

Fuente: elaboración propia

Los temas fundamentales para la comodidad auditiva como son el **ruido de fondo** y el **tiempo de reverberación**, los cuales se exceden en la mayoría de las aulas, fueron ampliamente analizados en el Capítulo 6.5., Auditoria objetiva para el confort auditivo.



La norma no establece como obligatoria la presencia de **materiales con capacidad de atenuación sonora**, sino expone como recomendación 20 dB de atenuación de la intensidad sonora y, en caso de cubierta expuesta al cénit, el cielorraso debe contar con material de atenuación sonora. Por otro lado, materiales absorbentes se recomiendan en la parte superior de las paredes.

En general, las aulas presentan un cumplimiento bajo, con excepción del aula 3 del colegio Nelson Garcés. Otras aulas, alcanzan a quedar en el cumplimiento medio como las 1, 4 y 8. Por último las aulas 5 y 6 del colegio Nuevo Latir quedan en el rango de bajo cumplimiento, a pesar de ser las únicas aulas que presentan grandes áreas vidriadas con posibilidad de cerramiento Figura 7-40.

En cuanto a la relación entre la percepción del confort auditivo por parte de los estudiantes y el nivel de cumplimiento de la norma, se evidencia una relación no directa (Montoya, 2019). El grupo con la mayor percepción de confort, correspondió al de menor cumplimiento de la norma. En el resto de los grupos, no se observa tampoco una relación entre el cumplimiento de las recomendaciones de la norma y la percepción del confort (Figura 7-41).

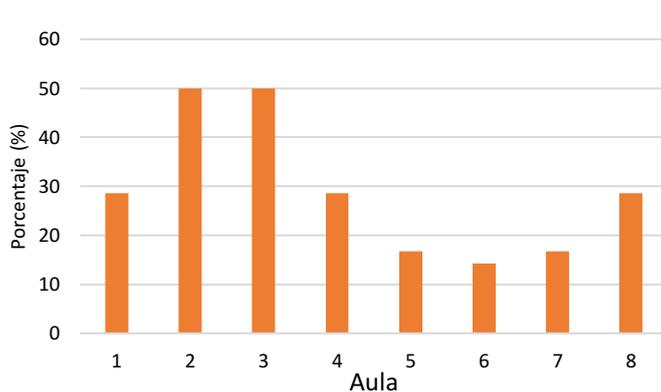


Figura 7-40: Cumplimiento de la comodidad auditiva en las aulas

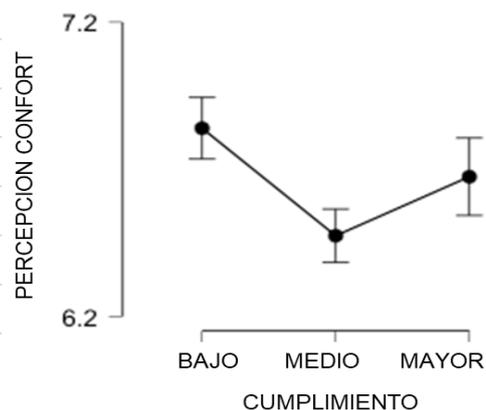


Figura 7-41: Relación entre percepción de confort y cumplimiento de norma

Fuente: elaboración propia

De los temas de comodidad a que se refiere la norma, el visual es el tema con un mayor cumplimiento, lo cual puede ser el resultado del mayor número de recomendaciones de diseño para alcanzar el ambiente lumínico adecuado en el aula, a pesar de la generalidad de los mismos, como se explicó anteriormente.

Por su parte, en el capítulo de comodidad térmica, también se desarrollan un número importante de recomendaciones, sin embargo, no hay un cumplimiento alto como se alcanza en el tema visual. Por último, en el capítulo de comodidad auditiva, el más general de los tres, no se presentan recomendaciones de diseño, áreas de aberturas frente a las áreas de cerramiento, características y porcentajes de los materiales al interior de las aulas, o la relación de estas con patios y sitios de encuentro.

Adicional a lo anterior, entre los tres temas, en relación al confort integral, no hay una relación transversal y en muchos se presentan contradicciones entre el tema térmico, visual y auditivo, como en el caso de las áreas de aberturas o distancias máximas.

En cuanto a los materiales recomendados, se puede inferir la relación entre las características de factor de ganancia solar de los materiales y los coeficientes de reflexión de la luz, sin embargo, no son explícitas las características de los materiales en un sentido amplio para los dos temas y estos quedan sin aplicabilidad para la comodidad auditiva, con el riesgo de que el material que se escoja por su propiedad visual, no sea el más apto para las condiciones térmicas y auditivas y viceversa.

Finalmente, el grado de cumplimiento en las recomendaciones de confort, no guarda relación directa con el confort percibido por las personas, como tampoco con los indicadores relacionados con el confort en cada uno de los temas.

7.4. Síntesis

Dada la situación de la norma en estudio, la NTC 4595 no hace ninguna alusión a los conceptos de confort, se proponen algunas recomendaciones a la norma NTC 5316, a la cual se tuvo que acudir en el estudio para el análisis propuesto. La norma debe generar parámetros propios basados en nuestras condiciones locales, que como se demostró a lo largo del estudio, son diferentes a otras ciudades con estaciones climáticas, y no limitarse a ser traducción idéntica de la internacional ASHRAE. Las indicaciones de la norma a partir de un parámetro exclusivo como la temperatura operativa (T_o), dificulta que sea incorporada en el análisis climático de los edificios en su proceso de diseño, sin el apoyo de herramientas de simulación.

El rango de confort para verano que ofrece la norma, tampoco es aplicable para la ciudad de Cali como se demostró en el análisis de las aulas. Las personas manifestaron confort a temperaturas operativas más altas y el porcentaje de humedad relativa característico de Cali, no es considerado en la norma.

La norma NTC 4595 que ofrece alternativas de diseño para los colegios, debe alinearse con la NTC 5316, y desarrollar, si es necesario, algo más específico, con el fin que los diseñadores

tengan claro el objetivo a alcanzar en rangos de temperatura y humedad y no solo tener una variedad de recomendaciones, sin la certeza del desempeño térmico de las mismas.

Para un mejor comportamiento de la envolvente, se deben proponer recursos de diseño como dobles muros con cámara de aire e incorporación de materiales aislantes, los que a partir de una menor transmitancia térmica (K) del componente, garanticen una mayor protección del espacio interior al impacto de la radiación, pues como se demostró a lo largo del estudio, la presencia de muros sencillos o cubiertas tradicionales así tengan cámara de aire y las rotaciones norte-sur, no logran conservar el espacio interior en el rango de confort, desde el mediodía en adelante.

El criterio empleado por la norma para la selección de materiales como el de *energía solar incidente*, no tiene un uso generalizado, lo que hace difícil su aplicación sin un conocimiento específico del tema. La dificultad anterior se aumenta, al no contar con la metodología de cálculo que permita hacer el análisis con otros materiales.

La norma debe suministrar un listado amplio de materiales con los indicadores usados en la literatura científica y generalizada sobre confort térmico como: transmitancia térmica (K), reflectancia, conductividad térmica (λ) o resistencia térmica (R), así como densidad (ρ), permeabilidad al vapor de agua (δ), Permeancia al vapor de agua (Δ); conceptos de uso generalizado, los cuales son incluidos en las fichas técnicas de muchos materiales.

En el tema de la comodidad visual y térmica, la norma propone diferencias en las dimensiones de las aberturas, las cuales no presentan una diferencia relevante en el desempeño lumínico. Es necesario una mayor caracterización de los elementos de protección solar desde la disposición en la fachada, las dimensiones, ángulos de protección, y color, pues el comportamiento lumínico es diferente. Y no sólo como un porcentaje de área de abertura a aumentar si hay presencia de elementos de obstrucción. Fachadas con presencia total de elementos de obstrucción como persianas o calados, difícilmente logran los niveles lumínicos al interior. Esta solución debe ser alertada por la norma, a no ser que se busquen espacios con presencia de iluminación artificial durante toda la jornada.

Los niveles de reflectancia indicados para el acabado de las superficies al interior, no pueden ser considerados independiente de la caracterización y distribución de las aberturas, pues como se demostró a lo largo del estudio, si bien se logran los niveles de iluminancia adecuados, la distribución en el espacio no es la adecuada. Además de los conceptos que presenta la norma para la comodidad visual, debe incorporar conceptos como el brillo, color y contrastes, para una mejor caracterización del ambiente lumínico.

Con el fin de caracterizar mejor el ambiente lumínico, dado el carácter dinámico que implica la luz natural, es importante que la norma actualice sus parámetros estáticos de medición, e incorpore análisis anuales que permitan identificar las mejores estrategias.

La norma presenta recomendaciones generales enfocadas a que el espacio permanezca con los niveles adecuados de ruido de fondo y tiempo de reverberación, sin embargo, se debe caracterizar mejor el acondicionamiento al interior de los materiales, debido a que el comportamiento acústico es diferente, como se demostró a lo largo del estudio, de acuerdo a la ubicación del material al interior.

Es necesario una caracterización de las propiedades acústicas de los materiales desde el coeficiente de absorción, para servir de apoyo al diseñador al momento de elegir los materiales más adecuados acústicamente. La adecuación interior de las superficies del aula, debe ser de obligatoria implementación, sino, es poco probable que se alcancen los rangos indicados por la norma. En espacios con alta permeabilidad hacia el exterior, característicos de la situación tropical como la del estudio, se hace necesario la implementación de mayor variedad de estrategias que actúen como trampas u obstáculos hacia el ruido, sin impedir la ventilación cruzada.

La verificación de temas como el confort, al igual que otras normas de aparición reciente en Colombia en el marco de la arquitectura sostenible ⁽³⁾, son de dudosa aplicación, debido a la

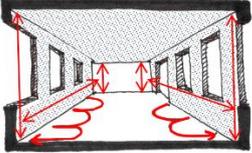
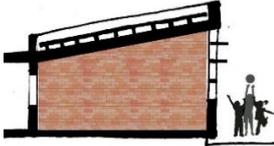
³ Se refiere específicamente a la implementación del decreto 0549 del 10 de julio de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamiento de construcción sostenible, y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones.

ausencia de personal idóneo que acompañe el proceso y la construcción, y realice las verificaciones respectivas una vez construido el proyecto (Auditoria post-ocupacional).

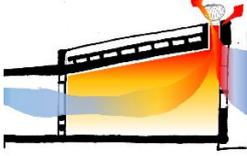
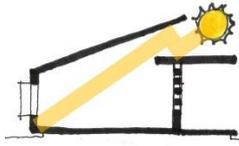
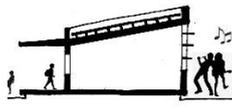
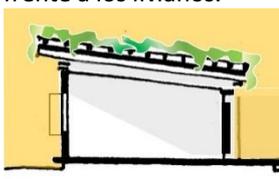
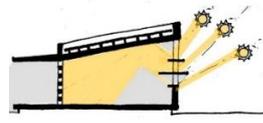
Finalmente, queda el interrogante sobre el vacío que existe en la implementación de los temas de confort en los colegios, debido a la falta de adecuación de la norma a la realidad local, la cual, sin la presencia de expertos que acompañen el proceso, se convierte en la guía exclusiva para los diseñadores, quienes definen las condiciones de habitabilidad y confort en los proyectos.

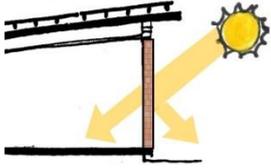
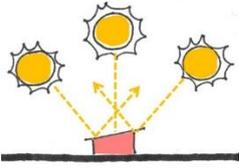
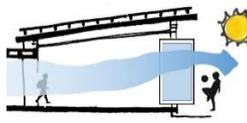
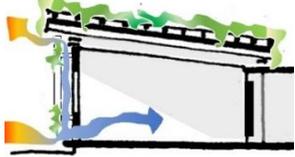
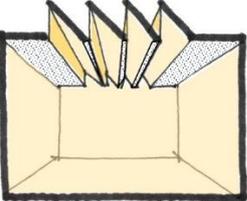
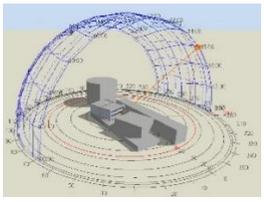
A continuación se presenta en la Tabla 7-4 la síntesis DOFA ⁽⁴⁾ de los tres componentes de confort en la norma NTC 4595, con lo cual establecer lineamientos básicos para su revisión, en cuanto a debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades:

Tabla 7-4: Síntesis DOFA del confort en la norma NTC 4595

Síntesis del confort en la norma NTC 4595				
	Térmico	Visual	Auditivo	Integral
DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> Generalidad en su planteamiento. Ausencia de los indicadores de confort a alcanzar al interior del espacio como Ta, %HR, Va, TMR, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de indicaciones sobre la distribución de los vanos. 	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de caracterización de la envolvente en los materiales al interior. 	<ul style="list-style-type: none"> El hecho que la norma no sea de cumplimiento obligatorio, reduce su impacto y minimiza la importancia del tema en el diseño de espacios para la educación y enseñanza.
			<ul style="list-style-type: none"> Débil caracterización de los elementos de protección solar. 	

⁴ El análisis **DOFA** (o FODA) proviene de la sigla en inglés SWOT (*Strenghts, Weaknesses, Opportunities y Threats*), que significa Fuerzas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas. Es una técnica desarrollada en la década de 1960 en la Universidad de Stanford, Estados Unidos, para analizar escenarios y usar este análisis como base para la gestión y planificación estratégica. La herramienta por su simplicidad, puede aplicarse a **cualquier tipo de situación** de una empresa, institución, persona o proyecto o persona.

	Térmico	Visual	Auditivo	Integral
DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> Poco incentivo a explorar alternativas novedosas como aislantes térmicos, cámaras de aires, chimeneas solares, enfriamiento evaporativo, entre otras, necesarias en este tipo de climas.  <ul style="list-style-type: none"> Como se demostró a lo largo del estudio, la presencia de muros sencillos o cubiertas tradicionales así tengan cámara de aire, y las rotaciones norte-sur, no logran conservar el espacio interior en el rango de confort, desde el mediodía en adelante 	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de recomendaciones para la exploración de elementos complementarios como los estantes de luz, claraboyas, etc.  <ul style="list-style-type: none"> No hay alusión a separaciones entre los circuitos de luz. 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de indicación acerca de los grados de cerramiento frente a las condiciones exteriores. 	<ul style="list-style-type: none"> La norma debe avanzar en indicadores propios del contexto tropical, tanto en lo térmico, visual y auditivo, para conformar indicadores de confort propios, los cuales pueden reflejar apropiadamente las necesidades de la población local.  <ul style="list-style-type: none"> Ausencia de personal técnico y experto en los temas de confort que permita verificar las condiciones propuestas.
FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none"> Se promueven materiales másicos frente a los livianos. 	<ul style="list-style-type: none"> Rangos definidos para iluminancia, Uo y FLD. Aprovechamiento máximo de la luz natural durante la jornada de clase 	<ul style="list-style-type: none"> Rangos definidos 	<ul style="list-style-type: none"> La norma está abierta para incorporación de mejoras. También incluye indicadores que empiezan a ser conocidos por los arquitectos diseñadores, no expertos en confort.
AMENAZAS	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores como el factor de ganancia solar de poco conocimiento para un público no experto. 	<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento sobre la duración de la iluminación natural, de acuerdo a las horas de los días con variados tiempos de cielo. 	<ul style="list-style-type: none"> Alta permeabilidad hacia el exterior dada la prevalencia a la ventilación natural. 	<ul style="list-style-type: none"> Recrudescimiento de factores colaterales como mayor consumo de energía,

	Térmico	Visual	Auditivo	Integral
AMENAZAS	<ul style="list-style-type: none"> Falta de claridad en el procedimiento para hallar el factor de ganancia solar, lo que puede llevar a escoger el material sin el sustento necesario. 	<ul style="list-style-type: none"> Es necesario mayor conocimiento de la disponibilidad de luz al exterior y de los niveles de radiación.  <ul style="list-style-type: none"> Sobre consumo de energía, al tener toda la iluminación artificial en un solo circuito, sin ser necesario para todas las áreas. 	<ul style="list-style-type: none"> En espacios con alta permeabilidad hacia el exterior, se hace necesario implementar mayor variedad de estrategias que actúen como trampas u obstáculos hacia el ruido, sin impedir la ventilación cruzada. 	<ul style="list-style-type: none"> Problemas de salud física, salud mental, disminución del aprendizaje, dadas por las necesidades de adaptación a condiciones no aconsejables. Validación y promoción indebida de las estrategias de diseño de la norma, por desconocimiento de los diseñadores no expertos y encargados de la gestión.
OPORTUNIDADES	<ul style="list-style-type: none"> Mayor incentivo a alternativas como aislantes térmicos, cámaras de aire, chimeneas solares, enfriamiento evaporativo para este clima.  <ul style="list-style-type: none"> Enriquecer la norma con conceptos de uso generalizado, incluidos en las fichas técnicas de muchos materiales. Suministrar un listado amplio de materiales con los indicadores usados en la literatura científica y generalizada sobre confort térmico: transmitancia, reflectancia, conductividad y resistencia térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor exploración en las áreas vidriadas o expuestas, su localización y distribución en la fachada, sino la presencia de niveles altos de reflectancia al interior. Exploración de elementos como tubos de luz, claraboyas, estantes de luz, entre otros, que ayuden a mejorar la distribución lumínica. 	<ul style="list-style-type: none"> Caracterización de las propiedades acústicas de los materiales desde el coeficiente de absorción, para servir de apoyo al diseñador al momento de elegir los materiales más adecuados acústicamente. La adecuación interior de las superficies del aula, debe ser de obligatoria implementación, de lo contrario, es poco probable que se alcancen los rangos indicados por la norma. 	<ul style="list-style-type: none"> Mejoramiento de la norma a partir del conocimiento técnico experto. Incorporación de información a partir de utilización de modelos de simulación y métricas dinámicas. Aprendizaje por medio de las Auditorías Ambientales para retroalimentar el diseño. Influir en el proceso de diseño con una actualización de la norma que sea AMIGABLE para los diseñadores y gestores de colegios. 

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 8

8. DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS EN EL PROCESO DE DISEÑO PARA CALI

A partir de las metodologías de diseño bioclimático y de las estrategias para el confort en climas cálidos analizadas en la **Parte 1: MARCO PROBLEMÁTICO-CONCEPTUAL** de la investigación (1.4. El diseño pasivo frente al diseño tradicional), se presenta a continuación la propuesta para el análisis e incorporación de estrategias de diseño enfocadas en el confort como parte de la metodología para el diseño de aulas en clima tropical.

Como indica (San Juan et al., 2013) en la etapa pre-ocupacional (de diseño), la “idea” arquitectónica y posterior anteproyecto, debe partir desde el análisis bioclimático hasta el dimensionamiento final y cálculo energético y económico. Además, la adopción de la tecnología constructiva debe ser acompañada en el proceso de diseño a través de cálculo y simulación (estacionarios y dinámicos), lo cual permite determinar lo que los autores denominan el diseño “**Cuantitativamente correcto**” (San Juan et al., 2013).

A continuación, se presenta la propuesta de incorporación de las estrategias de diseño en el proceso de diseño de aulas en el trópico, tomando como punto de partida los insumos que arroja la simulación a través de software específicos, sin los cuales las estrategias planteadas quedarían como soluciones empíricas, sin comprobación de su efectividad.

8.1. Etapa 1: Análisis bioclimático general

En esta primera etapa, se consideran los parámetros de localización y clima presentados en detalle en el Capítulo 4: CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA. A partir de los datos climáticos de las temperaturas promedio, identificándose un comportamiento similar durante todo el año (Figura 8-1). Para definir las temperaturas de diseño, se analiza el comportamiento de las temperaturas medias máximas, a partir de cuartiles (Figura 8-2).

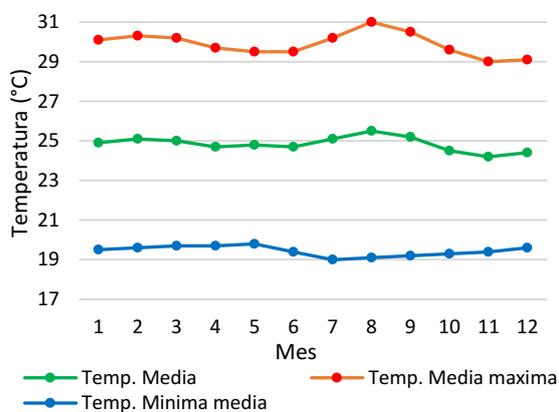


Figura 8-1: Temperatura anual. Fuente: Elaborado a partir de datos del IDEAM

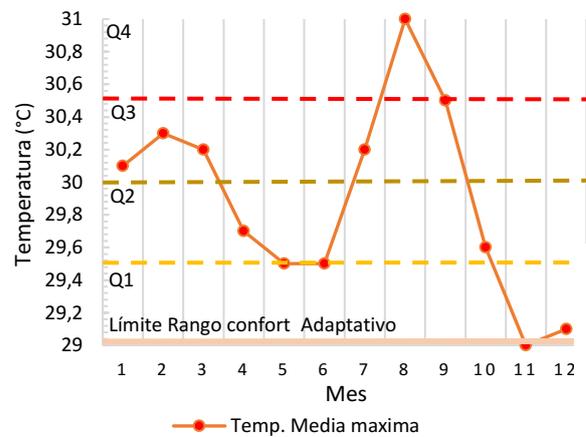


Figura 8-2: Temperatura media máxima anual. Fuente:

Fuente Elaborado a partir de datos del IDEAM

Teniendo en cuenta que, en el contexto de Cali, el principal parámetro al que se debe responder con el diseño es fundamentalmente a la amplitud térmica en día promedio hasta de 11,6 °C lo que implica momentos por debajo, en situación de frío (mañana) y otros que exceden el confort (medio día), con las siguientes características:

- Bajas temperaturas del ambiente con alta velocidad y baja temperatura del aire, en horas de la madrugada.
- Altas temperaturas del ambiente, la baja velocidad y alta temperatura del aire, en el horario de uso de los espacios educativo

Con el fin de hacer una pre selección de sistemas o pautas de diseño bioclimáticas (San Juan et al., 2013), se presentan a continuación los análisis a partir de los principales autores y diagramas bioclimáticos para clima cálido.

8.1.1. Análisis de acondicionamiento

A partir del análisis climático desarrollado por Olgyay para Cali, la zona de confort que se identificó es de 21.2°C a 26.8°C, con temperaturas promedio de 24°C (Olgyay, 1963) y varios momentos en el día en confort. Sin embargo, en el análisis basado en los 12 días de las mediciones del mes de agosto ⁽¹⁾, con Ta promedio más elevada (26.4°C), se muestra que las temperaturas diarias no alcanzan a entrar en confort (Figura 8-3).

Acorde con lo anterior, ante las situaciones mínimas, medias y algunas máximas, la estrategia recomendada es la ventilación cruzada, con aumento paulatino de la velocidad. Quedan algunas pocas condiciones máximas frente a las cuales no es posible restaurar el confort con la estrategia de movimientos de aire. Para situaciones máximas es necesario bajar el clo a 0.5, proporcionar sombra y medios arquitectónicos como materiales, radiación de onda larga de baja temperatura y enfriamiento evaporativo, para enfriar los alrededores (Olgyay, 1963).

¹ Se toman los datos de algunos días de las mediciones del estudio en el mes de agosto, ya que permiten hacer el análisis a profundidad, ya que los datos suministrados por la estación del IDEAM no resultan completos.

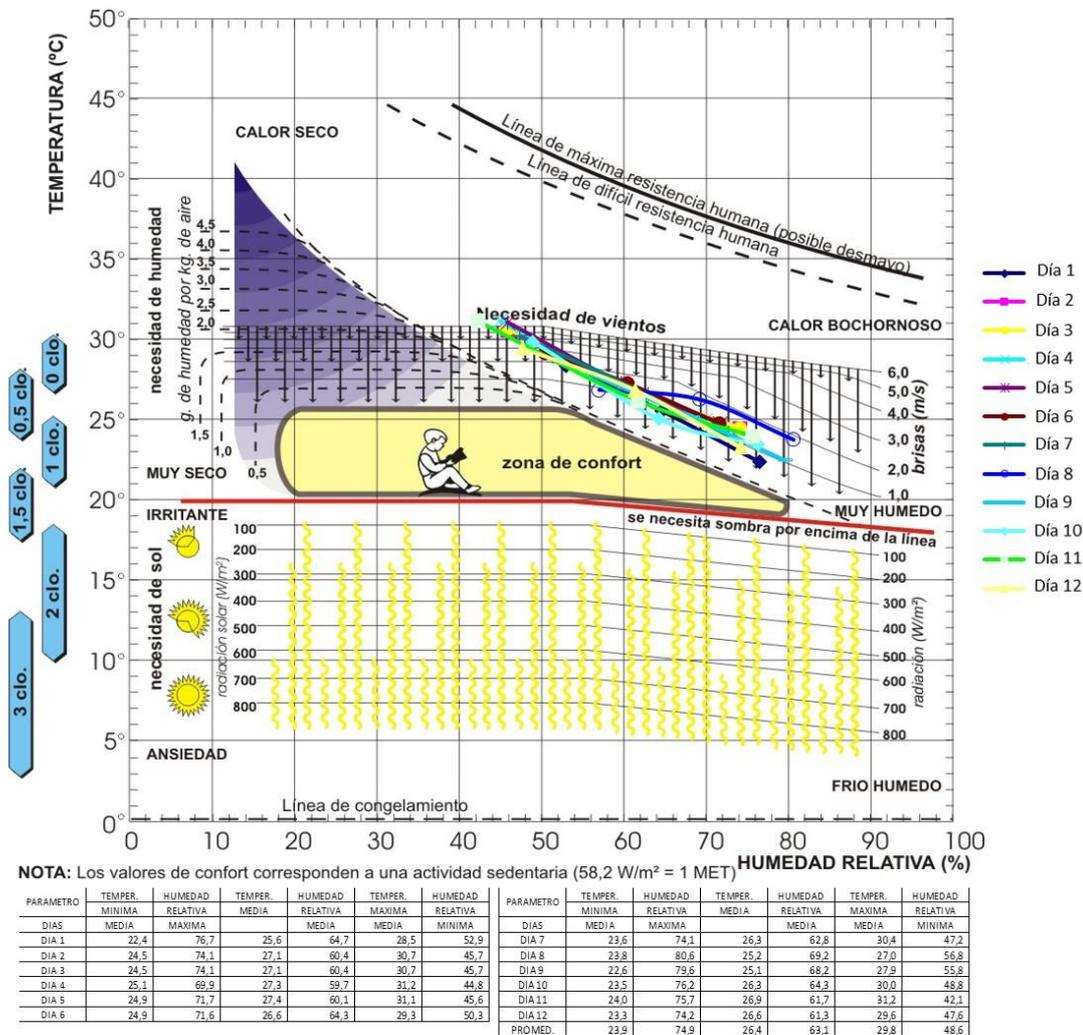


Figura 8-3: Promedio diario, Gráfico climático. Fuente: (Gonzalo, 2003)

Por otro lado, en el análisis basado en el climograma propuesto por Givoni, basado en los 12 días de las mediciones de agosto ⁽²⁾, se observa en la gráfica que al igual que Olgyay ante las situaciones de máxima temperatura, las medidas pasivas son insuficientes, recomendando ventilación mecánica. Aun para Givoni, la masa térmica (que recomienda Olgyay) no alcanza a proveer confort. Las situaciones mínimas y medias presentadas en horas de la madrugada, final de la tarde y noche, alcanzan a ser atendidas con ventilación natural. Según el autor, no se alcanza a estar en confort en ningún momento del día. Las principales estrategias recomendadas son (Figura 8-4): ventilación cruzada (azul claro), ventilación mecánica (azul oscuro) y enfriamiento evaporativo indirecto (fucsia).

² Se toman los mismos datos de algunos días de las mediciones del estudio en el mes de agosto, que se tomaron para aplicar el gráfico de Olgyay.

DIAGRAMA PARA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR = 1000 m

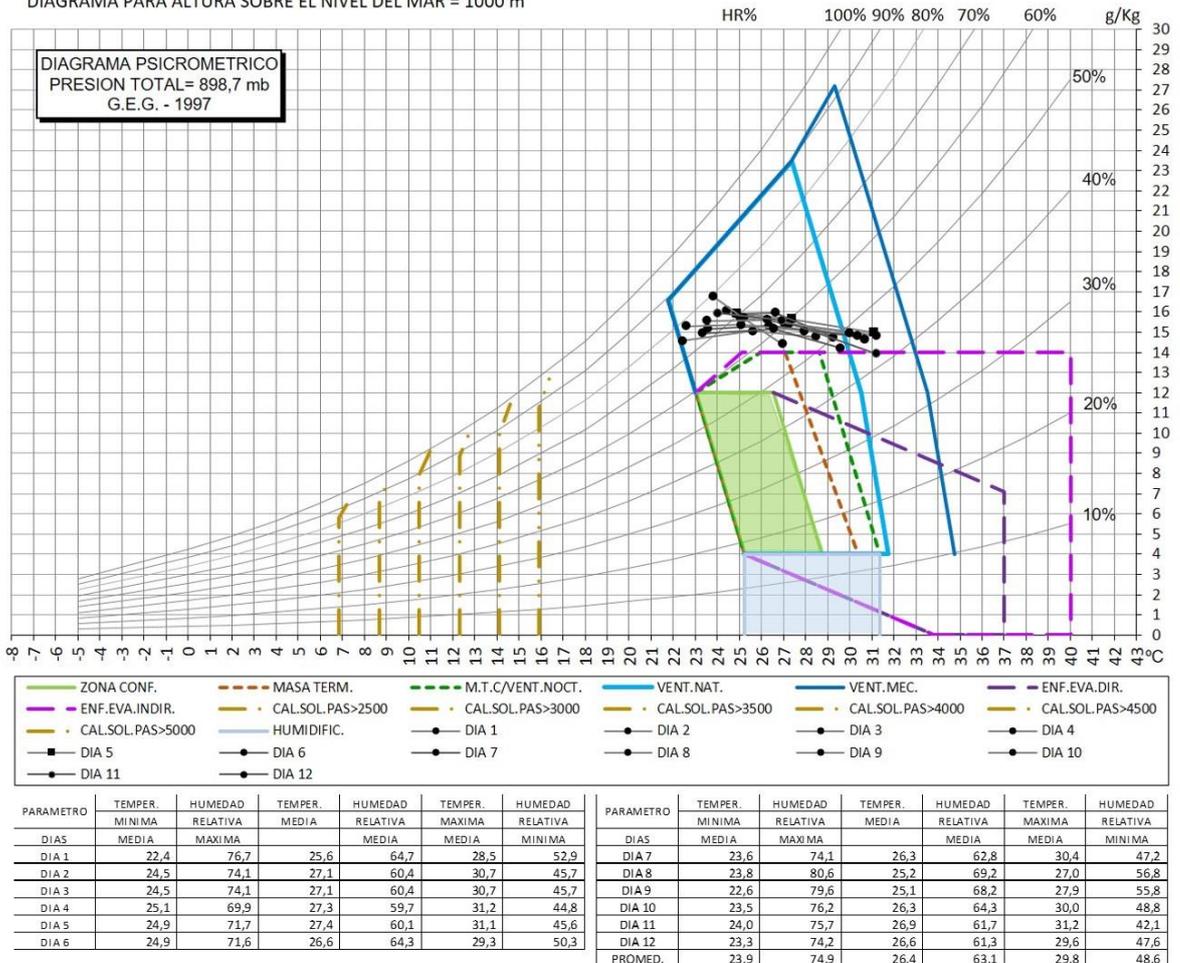


Figura 8-4: Promedios de temperatura y humedad de 12 días de un mes típico, en climograma de Baruch Givoni. Fuente: elaboración propia a partir de grafico climático (Gonzalo, 2003)

A partir del análisis de la situación de Cali con la herramienta de los triángulos de confort (Evans y Schiller, 1988), con 24.8°C de temperatura promedio anual y una amplitud térmica de 10°C (máxima de 29.9°C y mínima de 19.4°C), arroja confort para zonas de circulación al interior, pero no de permanencia, siendo la estrategia principal la ventilación cruzada, la cual puede bajar hasta 2°C de temperatura (Figura 8-5)

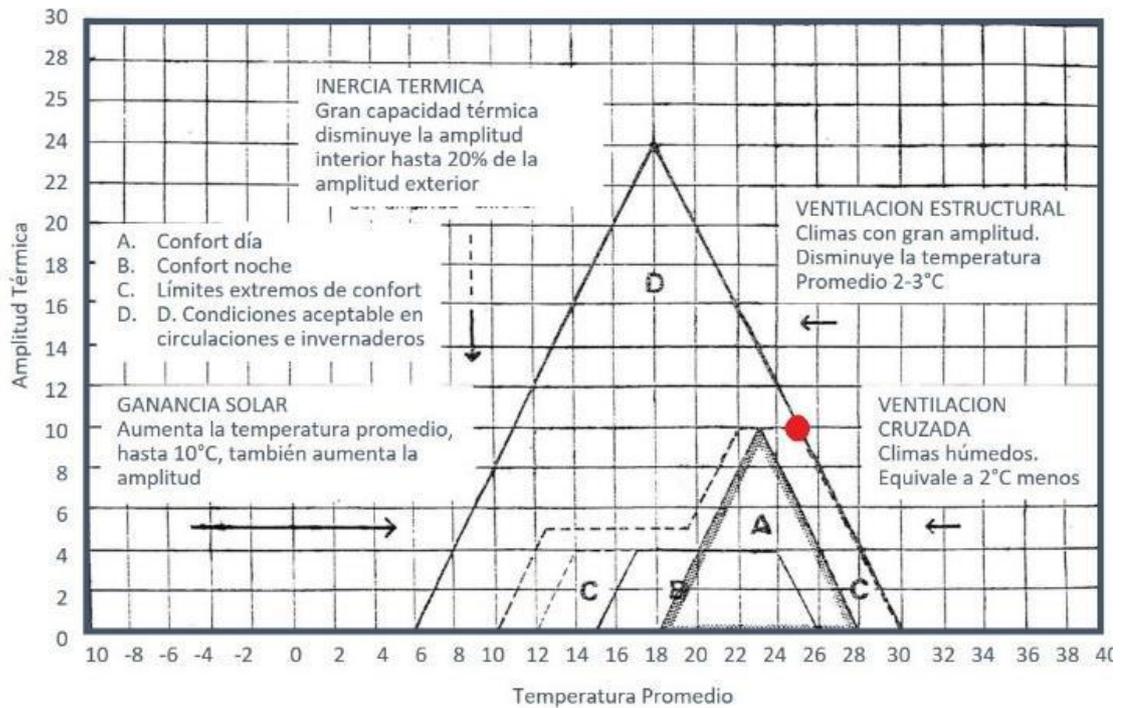


Figura 8-5: Estrategias de diseño en los triángulos de confort. Fuente: (Evans y Schiller, 1988)

En cuanto al análisis de las estrategias recomendadas por el programa de cálculo para la situación de confort desarrollado por Guillermo Gonzalo (Gonzalo, 2003), a partir de los datos climáticos de Cali, se puede observar en la Figura 8-6 que la ciudad se encuentra en confort:

- A partir de las 7 p.m. hasta las 2 a.m., situación similar a la analizada con el climograma de Givoni (Figura 8-6), Entre las 9 a.m. y las 11 a.m.

Y los momentos de desconfort son:

- De 2 a.m. a 8 a.m. desconfort por situación de frío.
- De 12 m. hasta las 3 p.m. o 4 p.m. desconfort por situación de calor.

Al medio día hasta la tarde los valores exceden el confort, con la necesidad de aplicar estrategias de enfriamiento. Lo anterior acorde con el análisis realizado por Olgyay, en donde indica que en la ciudad se ingresa en varios momentos en la zona de confort. Vale la pena aclarar que el rango de confort que se indicó fue de **22.2 °C y 29.2 °C** acorde con el modelo adaptativo.

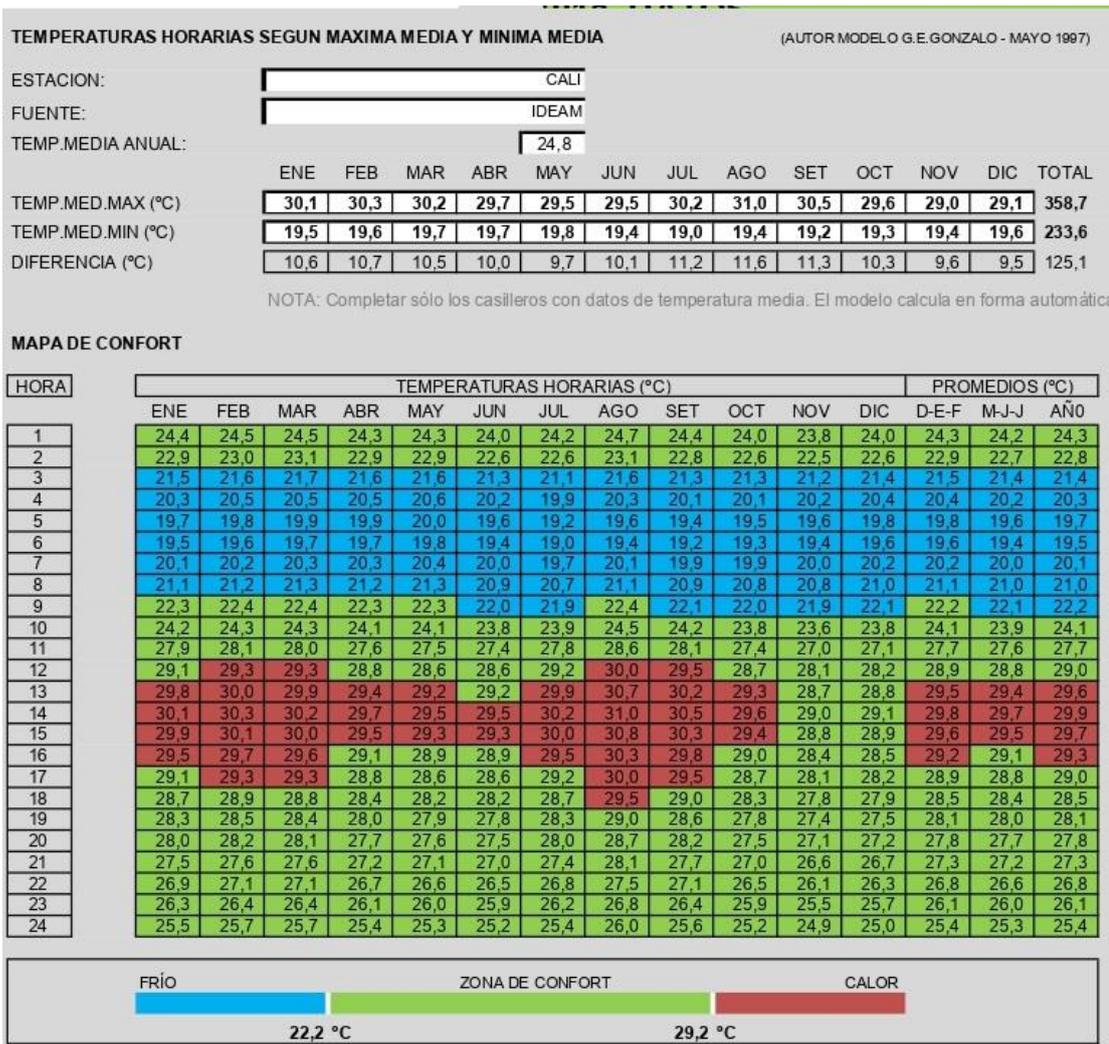


Figura 8-6: Programa para el cálculo de situación de confort.

Fuente:(Gonzalo, 2003)

El análisis realizado bajo las tablas de Mahoney, proporcionada en una interfaz desarrollada por Guillermo Gonzalo (Gonzalo, 2003), permite identificar el rango de confort durante el día entre 22°C y 27°C, con posibilidad de ser 1°C más cálido en algunos de los meses.

El rango de confort en la noche es más bajo entre 17°C y 21°C. Las principales estrategias son la orientación norte-sur, la ubicación de los espacios de permanencia en hilera para garantizar la ventilación cruzada, con la salvedad de proteger el interior de los vientos cálidos y polvorientos. Las aberturas deben ser entre 20% y 40% de las superficies de la pared con protección total hacia la radiación solar, evitando las que se orientan al oeste. Los techos

deben ser livianos con capacidad térmica baja, con superficie reflectora, buen aislamiento y cámara de aire.

Por último, a partir de las recomendaciones consignadas en ASHRAE (ASHRAE, 2005), se pueden identificar las mejores estrategias para proporcionar confort, con el software climate consultant, entre las cuales están: enfriamiento por ventilación forzada (57.5%); deshumidificación en la madrugada (45.1%) sombreado en las ventanas (33%) y masa térmica y ventilación selectiva (23.5%), (Figura 8-7).

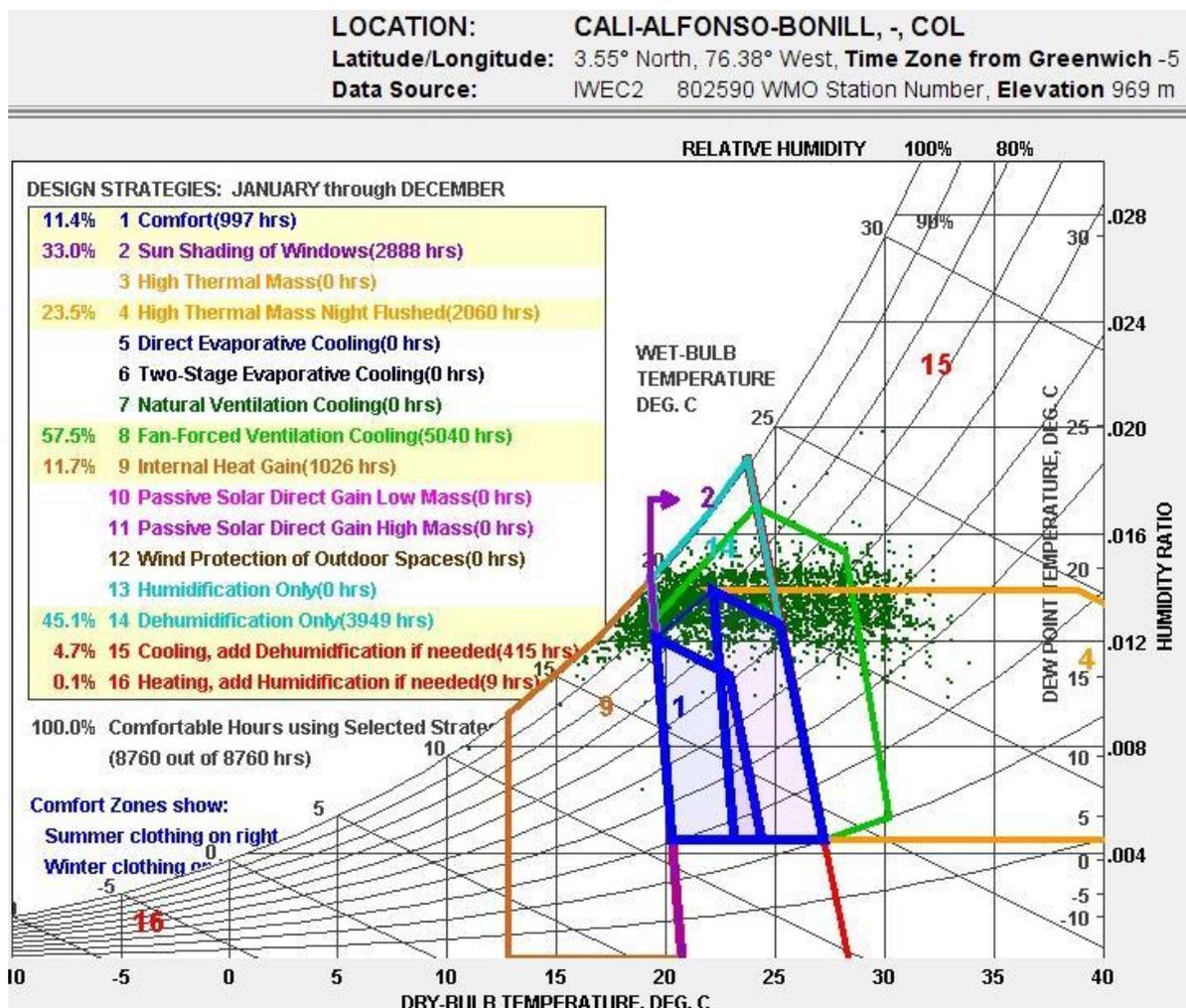


Figura 8-7: Estrategias de diseño basadas en ASHRAE
 Fuente: Climate Consultant, versión 5-3

8.1.2. Síntesis de las estrategias recomendadas para climas cálidos

A partir de las propuestas anteriores desarrolladas por varios de los autores presentados en el Capítulo 1, las principales recomendaciones para climas cálidos, son:

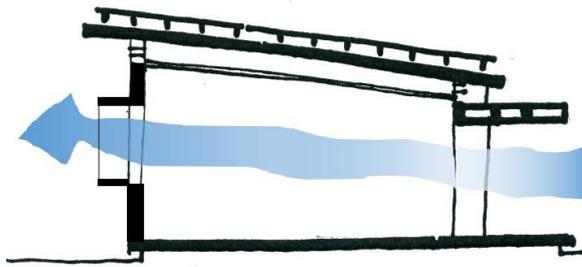


Figura 8-8: Ventilación cruzada

i. Autores como Martin Evans a través de la herramienta de triángulos de confort, determina como la principal estrategia la **ventilación cruzada** para proporcionar confort (Figura 8-8).

ii. Por su parte, Victor Olgay y Baruch Givoni coinciden en que, frente a las situaciones de máximas y mínimas de temperatura y humedad relativa, las **medidas pasivas son insuficientes**. Aun para Givoni, la masa térmica frente a las máximas temperaturas y mínima humedad relativa (que recomienda Olgay) no alcanza a proveer confort.

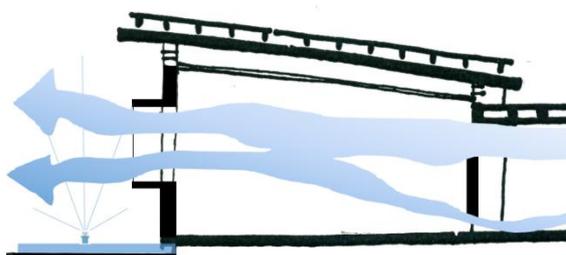


Figura 8-9: Masa térmica y enfriamiento evaporativo exterior

iii. En las situaciones medias de calor, no extremas, Olgay recomienda **bajar el clo a 0.5, proporcionar sombra** y medios arquitectónicos como **materiales, radiación de onda larga de baja temperatura y enfriamiento evaporativo**, para enfriar los alrededores; en las dos últimas recomendaciones coincide Givoni (Figura 8-9).

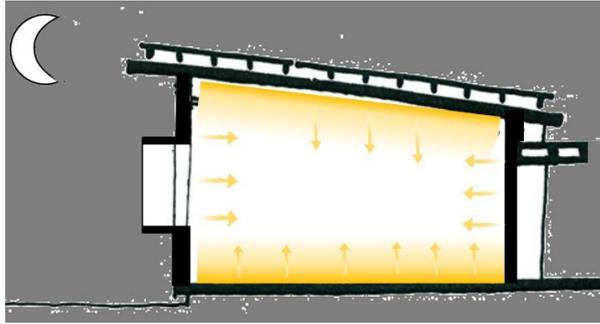


Figura 8-10: calefacción solar pasiva

iv. Las situaciones mínimas presentadas en horas de la madrugada, sí alcanzan a ser atendidas con **calefacción solar pasiva** para los dos autores: Olgyay y Givoni (Figura 8-10).

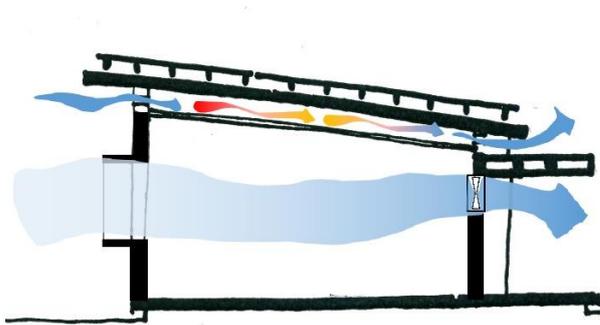


Figura 8-11: Ventilación forzada con extractor

v. Las recomendaciones de ASHRAE avanzan de las anteriores en incluir **enfriamiento por ventilación forzada, masa térmica** junto con **ventilación selectiva** y **des-humidificación** en horas de máxima humedad relativa en la madrugada (Figura 8-11).

Complementa las recomendaciones anteriores, al proponer porcentajes de aberturas y en las especificaciones del cielo para un adecuado comportamiento térmico.

Por otro lado, Mahoney propone dos zonas de confort dependiendo del momento del día con diferentes condiciones higro-térmicas. Además de la recomendación de una adecuada **orientación hacia el norte y sur**, de la que hablan la mayoría de autores.

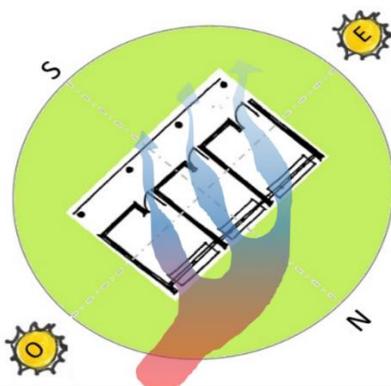


Figura 8-12: Ventilación-orientación en clima cálido seco. Cambiar

El autor también propone la **ventilación cruzada y orientación** en hilera hacia el Norte-Sur. Indica como porcentaje de aberturas 20% a 40% (similar a la recomendación de la norma), y **especificaciones en la composición del techo**: liviano, con material reflectivo + aislante+ cámara de aire, como la principal superficie horizontal en la edificación, con mayor exposición a la radiación solar (Figura 8-12).

8.2. Etapa 2: Dimensionamiento y validación de las alternativas de diseño integral para el confort de las aulas en climas cálidos

Como parte del proceso de diseño bioclimático, en la **Etapa 1** se definen las estrategias básicas a implementar de acuerdo a la literatura especializada en el tema. Una vez definidas las estrategias a implementar, continúa la evolución del proyecto que permitirá pasar a la validación de las estrategias escogidas a través de procesos de simulación.

El presente apartado, se basa en la validación de las estrategias de diseño propuestas por la norma NTC 4595 para ambientes educativos, aplicadas a un aula típica analizada en el estudio o caso “base”. Las variaciones en cada tema, se explicaron en detalle en el Capítulo de 5: Metodología para abordar el problema (Figura 8-13).

		COMPONENTES DEL CONFORT			
		TERMICO	VISUAL	AUDITIVO	
ALTERNATIVAS DE DISEÑO NORMA NTC 4595	1	Aberturas	Diferentes tamaños de aberturas en relación con el área de la planta		
	2	Protección radiación	Elementos horizontales y verticales de protección en fachada		
	3	Materiales	Masa térmica	Reflexión	Absorción acústica
	4	Orientación	Diferentes alternativas de orientación		
	5	Contexto	Diferentes alternativas del contexto inmediato		

Figura 8-13: Alternativas de diseño en los tres componentes del confort. Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior permite contrastar las propuestas de la norma colombiana para aulas confortables, en relación con las estrategias basadas en el diseño bioclimático. A continuación, se presentan en detalle el desempeño de las estrategias en cada uno de los temas, térmico, visual y auditivo, para luego integrar resultados y generar propuestas.

8.2.1. Validación de la situación real y optimizada: confort térmico

En el tema térmico, cada uno de los grupos (categorías) de alternativas se explican por cada uno de los grupos comparando su comportamiento con el caso “base”, el que es común a los temas térmico, visual y auditivo.

En el caso del confort térmico, por lo vigente de la discusión sobre los rangos de confort establecidos por las normas y los modelos teóricos, es oportuno realizar la validación desde los dos modelos, de acuerdo con el material con el que se cuente.

8.2.1.1. Modelo Adaptativo

Se analiza, en primera instancia, el promedio anual diario de las **Temperaturas Operativas (T_o)** alcanzadas al interior del aula en el caso “base” y en las alternativas de diseño, descritas en detalle en el Capítulo 6 (Análisis de la Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario) (Figura 8-14).

Se puede observar cómo el desempeño térmico de las estrategias pasivas presenta la misma tendencia, con temperaturas por debajo del rango de confort al inicio de la jornada escolar, y por encima, excediendo el rango a partir de las 11 a.m. Las horas que logran quedar en confort son desde las 8 a.m. hasta las 10:30 a 12:30 a.m. Se recuerda que el período de uso de los edificios es de 6:30 a.m. a 16:00 p.m. Esto se debe ya que al transcurrir el día la atmósfera y la masa terrestre se calientan, al igual que la masa edilicia, lo que evidentemente va calentando el aire interior, que no es estabilizado en los rangos de confort local con ningún sistema artificial (o equipo de acondicionamiento mecánico).

Por otro lado, si bien se cumple con ciertas pautas de la normativa, éstas no se encuentran diseñadas y calculadas en forma conveniente. Sin embargo, aunque las distintas estrategias logran la misma tendencia, algunas presentan un mejor desempeño térmico, proporcionando mayor cantidad de horas en confort y prolongando el mismo casi hasta las 12 a.m. Por ejemplo: la cubierta en concreto con cielorraso suspendido (CU CON+CIE).

En el caso base la T_o promedio interior resultante (línea color negro), en el horario de uso de las aulas fue de 26.5°C. En general y en forma anual, las medidas no generan significativos cambios en la T_o , lo que podría deberse a la falta de exigencia en los aislamientos recomendados por la Norma (Figura 8-14).

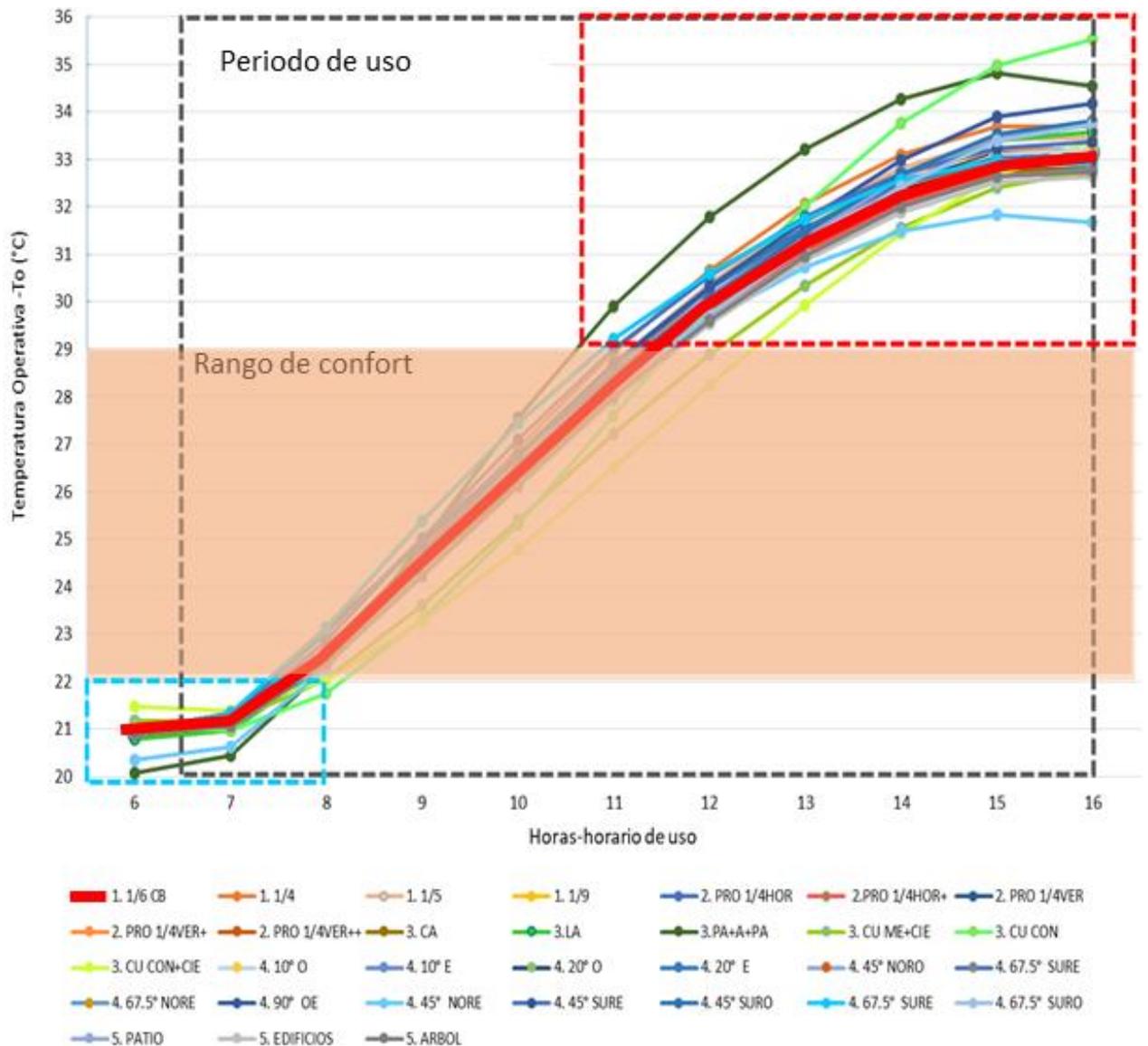


Figura 8-14: Promedio anual diario de las Temperaturas Operativas (T_o) alcanzadas al interior del aula

Cuadro celeste: por debajo de la temperatura de confort

Cuadro rojo: por encima de la temperatura de confort

Cuadro naranja: rango de confort modelo adaptativo

Grupo 1: Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón, Grupo 2. Elementos de protección en fachada en modelo ¼, Grupo 3. Materiales en la envolvente del aula, Grupo 4. Alternativas de orientación y

Grupo 5. Elementos del entorno

Fuente: elaboración propia

Con relación al **área de vidriada**, se concluye que funciona mejor térmicamente una menor área de ventana (con una relación de área ventana vs. área de piso en planta de 1/9). En general, las estrategias logran estar en confort hasta las 11:00 a.m. excediendo primero el rango la mayor área de ventana (1/4), y logrando estar 1 hora más en confort la menor área de ventana (1/9). Las otras dos opciones quedan en medio. Las T_o máximas alcanzadas están entre 33°C y 34°C (Figura 8-15).

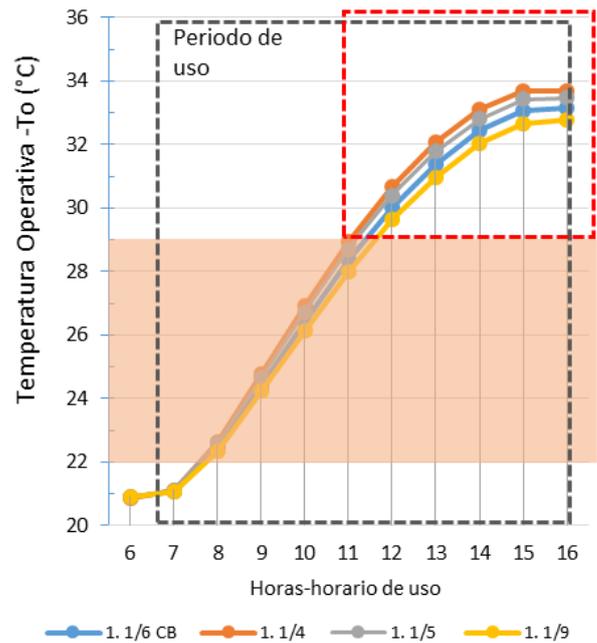


Figura 8-15: Grupo 1. Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón. Caso base=1/6

Por otro lado, a pesar que las **protecciones de fachada** presentan mejor desempeño térmico que las anteriores alternativas (tamaños de aberturas), con T_o máximas entre 32.5°C y 33°C, los calados y las protecciones horizontales, están por debajo de las protecciones verticales (las que sobrepasan el caso base) y del caso base. En general, las estrategias presentadas en la Figura 8-16, exceden el rango de confort a partir de las 11:30 a.m. (igual que los tamaños de ventanas en la Figura 8-16), sin embargo en este caso, las protecciones sobrepasan el confort con diferencia mínima de tiempo.

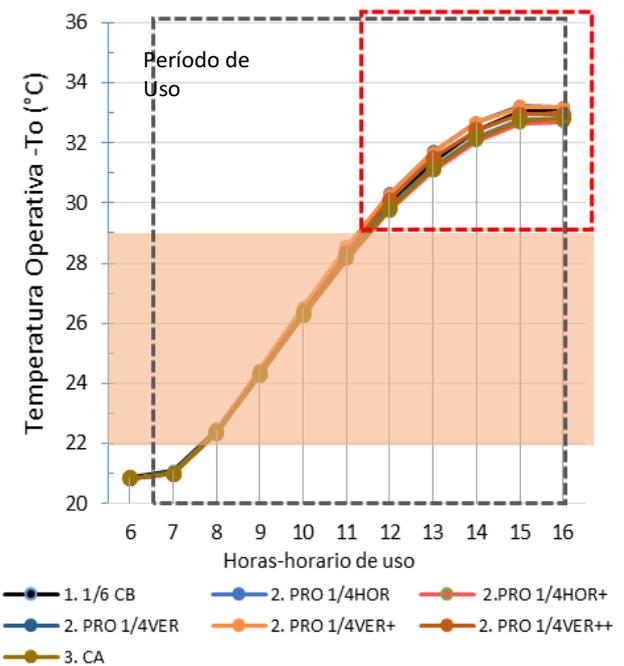


Figura 8-16: Grupo 2. Elementos de protección en fachada en modelo ¼.

Grupo 2: 2.PRO1/4HOR=Protección horizontal, 2.PRO1/4HOR+=Más elementos de protección. 2.PRO1/4VER= 5 quiebrasoles de Protección Vertical, 2.PRO1/4VER+=9 quiebrasoles, 2.PRO1/4VER++=16 quiebrasoles. Grupo 3: 3.CA=Calados
Fuente: elaboración propia

Las diferentes recomendaciones de **masa térmica** en la envolvente implicaron 3 °C de diferencia de 2 hs más o menos de confort. El desempeño térmico del bloque de concreto y el bloque de ladrillo es similar, a pesar de la diferencia que hace la norma NTC 4595.

Ambas alternativas salen del rango de confort a las 10:30 a.m. y alcanzan máximas T_o de 33°C. Caso contrario del muro con mínima masa térmica como el caso del panel de yeso, el cual sobrepasa el rango a las 10:30 a.m. y alcanza T_o máxima de 35°C (Figura 8-17).

En cuanto a la cubierta, el caso base (1/6) con cubierta metálica con aislante, es la opción que primero excede el rango de confort a las 11:30 a.m y la última en abandonarlo es la cubierta en concreto con cielorraso falso y cámara de aire (3. CU CON+CIE), 1 hora más tarde.

A pesar que la losa en concreto conserva temperaturas más bajas en horas de la mañana, después de exceder el rango, alcanza la T_o máxima alrededor de 36°C. Las demás opciones alcanzan T_o de 33°C.

Lo anterior refuerza la efectividad de la recomendación realizada por la norma, para la presencia de cámara de aire ventilada en el clima de Cali (Figura 8-18).

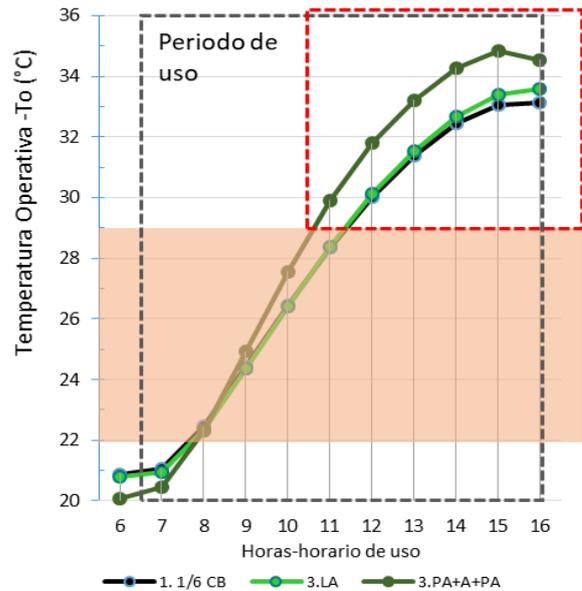


Figura 8-17: Grupo 3. Materiales en la envolvente del aula.

1/6= Caso base en bloque de concreto, 3.LA=Ladrillo, 3.PA+A+PA=Panel yeso+ cámara de aire +panel yeso

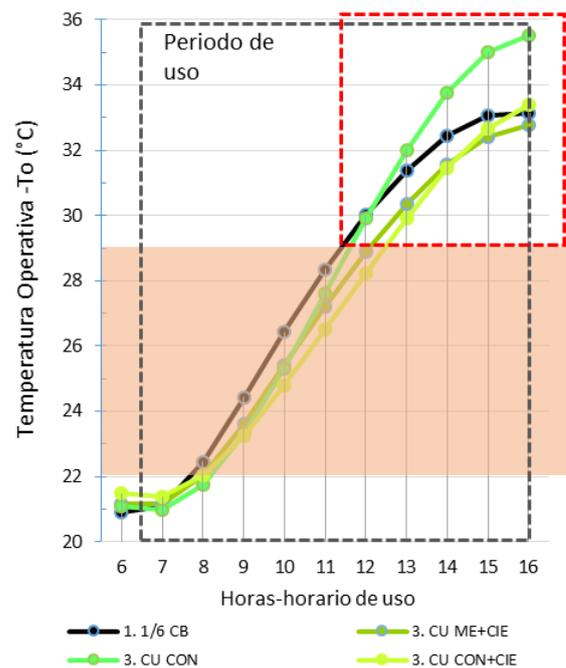


Figura 8-18: Grupo 3. Materiales en la envolvente del aula.

1/6= Cubierta sándwich con aislamiento y cielo falso, 3. CU+ME=Cubierta sándwich con aislamiento, 3. CU CON=Cubierta en losa de concreto, 3. CU CON+CIE=Cubierta en losa de concreto con cielo falso.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la **rotación del aula**, salen del rango de confort con 1 hora de diferencia, siendo la alternativa más crítica la rotación que expone la fachada principal hacia el oeste (4.90° OE) y la menos crítica (4.45° NE).

Entre las T_o máximas se presentan diferencias de 3°C, siendo la menor la T_o la que presenta la fachada principal a 4.45° NE con $T_o = 31^\circ\text{C}$, y la T_o máxima= 34°C corresponde a la orientación oeste (4.90° OE).

El resto de las alternativas alcanzan T_o máximas similares con diferencia entre ellas de 1°C, (Figura 8-19).

Y, por último, las condiciones del **contexto inmediato**, presentan un comportamiento similar entre las distintas alternativas, sin embargo se puede observar cómo todas exceden el rango de confort hacia las 11:30 a.m.

La alternativa que permanece por debajo de las demás, es la presencia del árbol como elemento de sombreado hacia el edificio, sin embargo, la diferencia es mínima. Por último, las T_o máximas alcanzadas están alrededor de los 33°C (Figura 8-20).

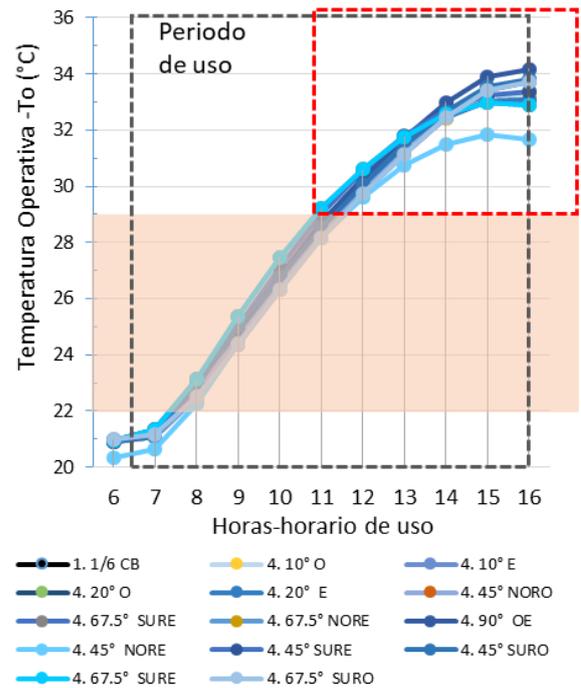


Figura 8-19: Grupo 4. Alternativas de orientación.

1/6 CB=Sur, 10° O= 10° hacia el oeste, 10° E= 10° hacia el este, 20° O= 20° hacia el oeste, 20° E= 20° hacia el este, 67.5° NOR O=67.5° hacia el noroeste, 67.5° NOR O=67.5° hacia el noreste, 67.5° SUR O=67.5° hacia el sureste, 67.5° SUR O=67.5° hacia el suroeste, 45° SUR E = 45° hacia el sureste, 45° SUR O= 45° hacia el suroeste, 45° NOR E= 45° hacia el noroeste, 45° NOR O= 45° hacia el suroeste, 90° OE=90° OESTE.

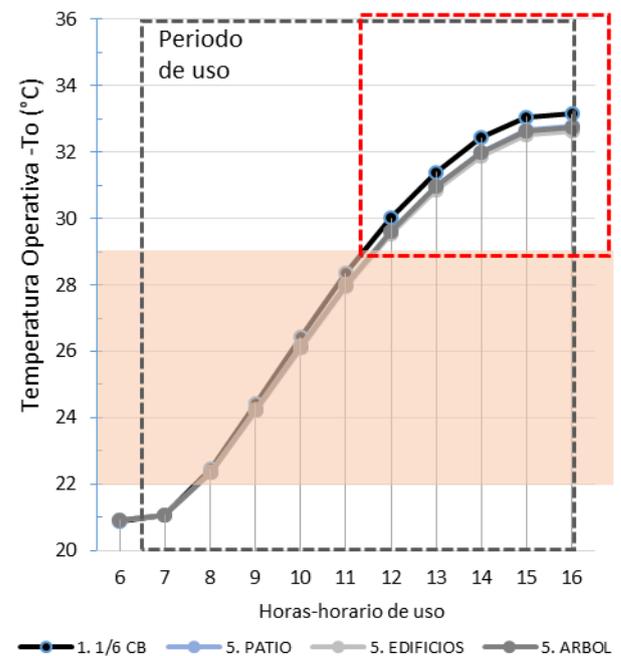


Figura 8-20: Grupo 5. Elementos del entorno.

Fuente: elaboración propia

Al comparar el comportamiento de las T_o máximas, medias y mínimas en todo el año (Figura 8-21), que las menores T_o corresponden a la orientación de la fachada principal hacia el NOR-ESTE (4. 45°NE), envolvente con calados (3. CA) y la fachada con elementos de protección solar horizontal (1/4HOR+ y 2.1/4HOR), donde se observa la misma tendencia presentada en el promedio diario. Se registran las máximas temperaturas en la cubierta en concreto sin cielorraso suspendido o falso (3.CU CON), el muro en panel yeso con cámara de aire (3.MU PA+A+PA) y la rotación oeste (4.90° OE).

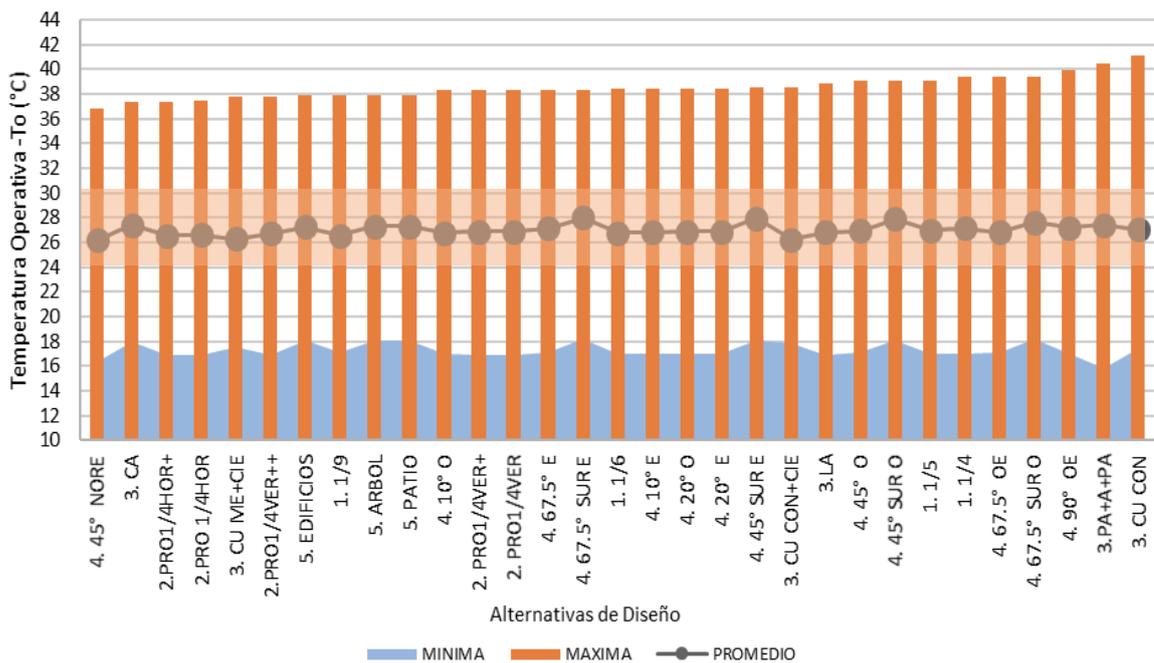


Figura 8-21: Comparación de T_o máximo, promedio y mínimo anual en las estrategias de diseño
Cuadro naranja: rango de confort modelo adaptativo

Grupo 1: Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón, Grupo 2. Elementos de protección en fachada en modelo ¼, Grupo 3. Materiales en la envolvente del aula, Grupo 4. Alternativas de orientación y Grupo 5. Elementos del entorno.

Fuente: elaboración propia

Al contrastar los resultados del **desempeño térmico** de las estrategias, con el **rango de confort Adaptativo**, se puede observar cómo todas las T_o promedio quedan dentro del rango, sin embargo, las T_o mínimas y máximas quedan por fuera. Al contrastar esta información con la suministrada en la Figura 8-14, acerca del comportamiento del día típico, se puede inferir que la mayoría de las estrategias quedarían en confort entre las 8 a.m. y las 10 a.m., en el resto de la jornada escolar se presenten situaciones por debajo (frío) y por encima del rango (calor).

Al comparar el comportamiento de las estrategias mes a mes, se observa en la Figura 8-22 que es similar, en coherencia con las condiciones climáticas de Cali, ciudad tropical, sin estaciones. Se comprueba una vez más que la T_o promedio de las variaciones permanece en confort, mientras las máximas y mínimas quedan por fuera del rango.

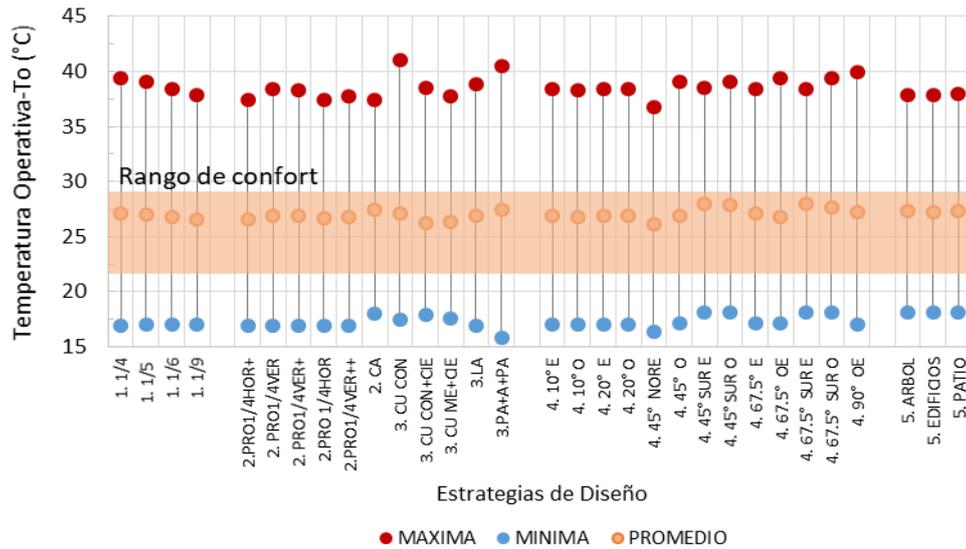


Figura 8-22: Desempeño térmico anual de las estrategias de diseño. Fuente: elaboración propia

Grupo 1: Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón, Grupo 2.Elementos de protección en fachada en modelo ¼, Grupo 3.Materiales en la envoltente del aula, Grupo 4. Alternativas de orientación y Grupo 5. Elementos del entorno.

8.2.1.2. Modelo analítico (índices PMV y PPD)

El análisis bajo el índice PMV (voto medio estimado), r255 resultado de aplicar las variaciones de diseño, se presentan en la Figura 8-23. En esta, llama la atención que todas las medias de los votos estimados, resultan por fuera del rango de confort indicado por la norma, y que aun más, con las T_o simuladas entre 26°C y 28°C, la predicción del modelo bajo el software arroje disconfort por situación de frío, con valores entre -1.0 y -2.5 (Figura 8-23).

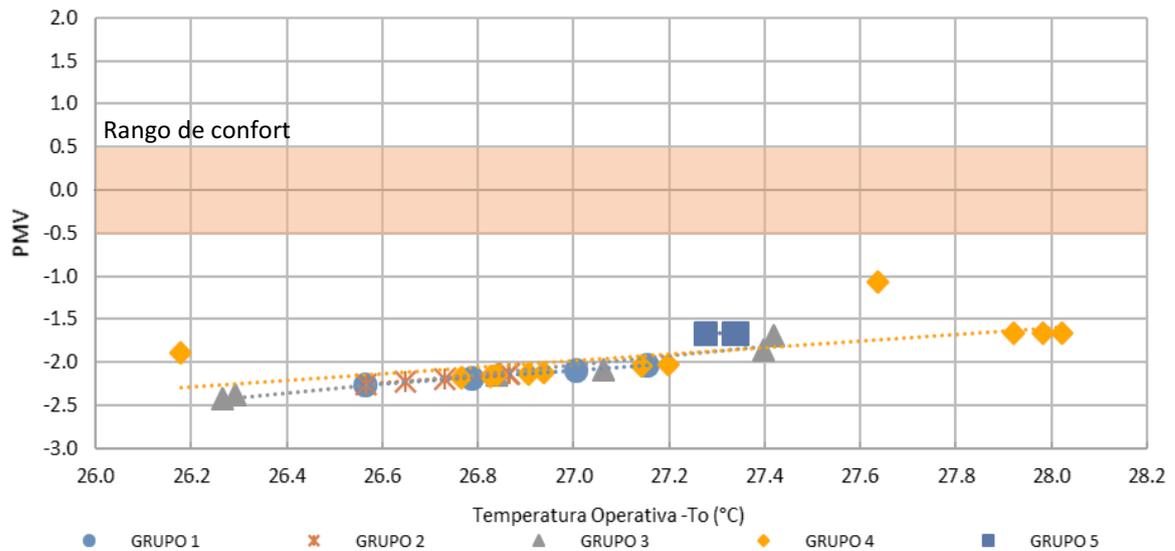


Figura 8-23: Validación del PMV en las estrategias de diseño simuladas

Grupo 1: Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón, Grupo 2. Elementos de protección en fachada en modelo ¼, Grupo 3. Materiales en la envolvente del aula, Grupo 4. Alternativas de orientación y Grupo 5. Elementos del entorno.

Fuente: elaboración propia

Bajo este índice, como resultado de la prolongación de la tendencia hasta el valor 0 de la escala de sensación térmica (estado neutral), la temperatura neutral predicha resultaría alrededor de 32°C, situación diferente a la identificada en la Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario, en donde la percepción de los estudiantes arrojó un valor de $T_n=25.4$ °C en el periodo seco y de 27°C en el periodo lluvioso (Figura 8-24).

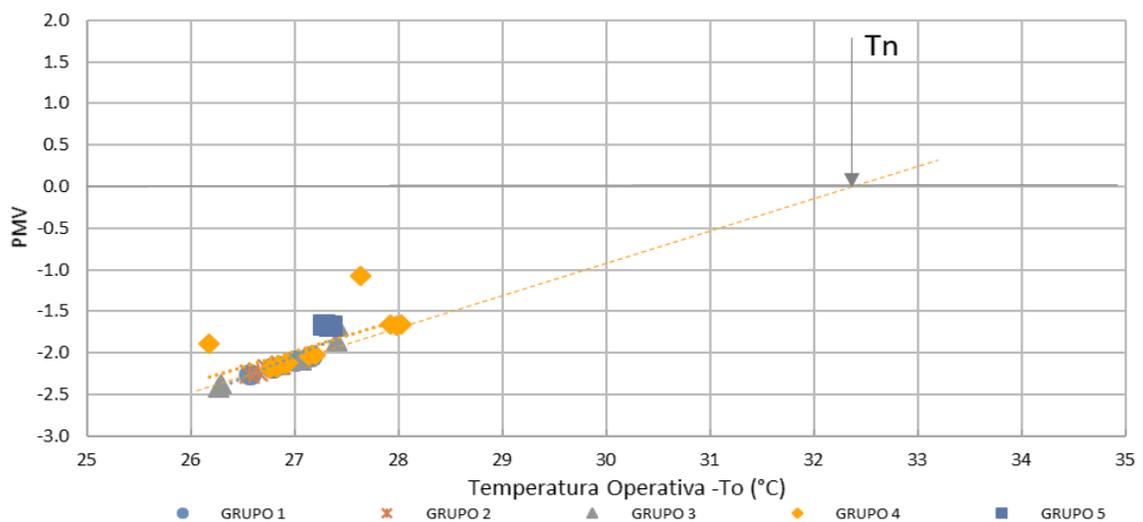


Figura 8-24: Temperatura Neutral al proyectar el patrón de las estrategias simuladas.

Grupo 1: Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón, Grupo 2. Elementos de protección en fachada en modelo ¼, Grupo 3. Materiales en la envolvente del aula, Grupo 4. Alternativas de orientación y Grupo 5. Elementos del entorno.

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, en cuanto al porcentaje estimado de insatisfechos (PPD), en coherencia con la predicción del PMV en situación de disconfort, la mayoría de los porcentajes superan el 50% y el 60%, con excepción de la estrategia de rotación al sur oeste (4. 67.5° SURO), (Figura 8-25).

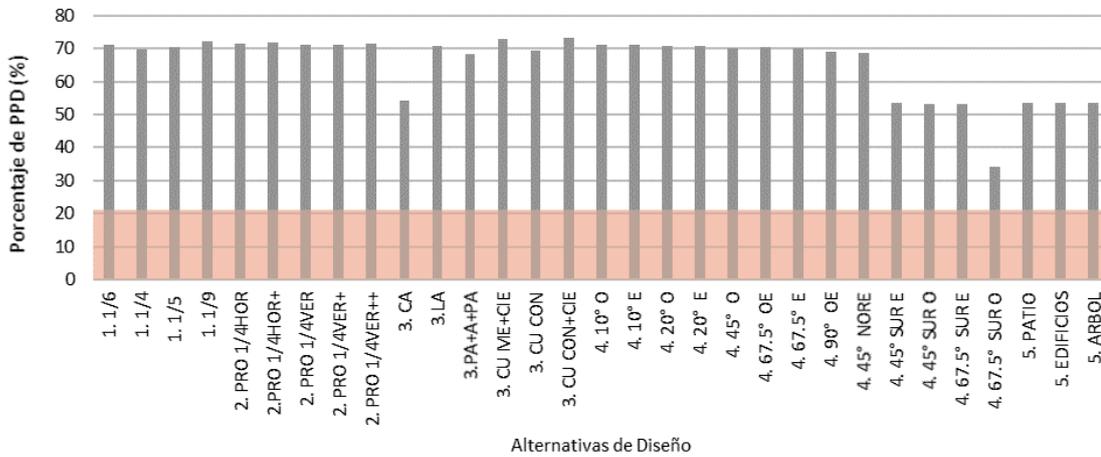


Figura 8-25: Validación del PPD en las estrategias de diseño simuladas

Grupo 1: Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón, Grupo 2. Elementos de protección en fachada en modelo ¼, Grupo 3. Materiales en la envolvente del aula, Grupo 4. Alternativas de orientación y Grupo 5. Elementos del entorno.

Fuente: Elaboración propia

8.2.2. Validación de la situación real y optimizada: Confort Visual

Para una mayor ilustración, se presentan a continuación los resultados descriptivos de las simulaciones en cada una de las métricas de análisis (Tabla 8-1 a la Tabla 8-3), en donde se resalta en color azul los valores por debajo y en rojo los que resultan por encima de los valores recomendados:

Tabla 8-1: Grupo 1 y 3. Dimensión de ventanas y reflectancia de materiales al interior

GRUPOS	GRUPO 1: DIMENSIONES ABERTURAS				GRUPO 3: REFLECTANCIA MATERIALES		
	1/6 CB	1/4	1/5	1/9	CIELO	PAREDES	PISO
LEED SDA₃₀₀, 50%							
	44.6%	73.0%	60.6%	59.2%	25.6%	48.4%	44.6%
UDI_{300-3000 lux}	82.5%	81.2%	80.3%	64.8%	84.91%	86.32%	82.36%
DF	3.6%	6.1%	5.0%	2.8%	4.1%	3.8%	3.7%
LEED ASE	12.1%	14.5%	13.5%	12.8%	12.1%	12.1%	12.1%

Fuente: elaboración propia

Tabla 8-2: Grupo 2Ay 2B. Elementos de protección solar en modelo 1/4, horizontales y verticales

GRUPOS	GRUPO 2: ELEMENTOS DE PROTECCION SOLAR EN FACHADA						
	HOR	HOR BLA	+ HOR	VER	VER BL	+ VER	CAL
LEED SDA _{300, 50%}							
	96,20%	96,20%	89,60%	89,60%	89,60%	90,00%	35,60%
UDI _{300-3000 lux}	94,49%	93,52%	87,8%	85,79%	85,79%	87,40%	80,57%
DF	2,90%	3,30%	1,80%	4,60%	4,60%	3,90%	3,00%
LEED ASE	0,70%	0,70%	0,00%	12,10%	12,10%	12,10%	10,40%

Fuente: elaboración propia

Tabla 8-3: Grupo 4 y 5. Alternativas de orientación. Condiciones exteriores

GRUPOS	GRUPO 4: ORIENTACIÓN FACHADA PRINCIPAL				GRUPO 5: CONDICIONES EXTERIORES		
	SE 1	SO1	SE 2	SO 2	PATIOS	EDIFICIO	ARBOL
LEED SDA _{300, 50%}							
	49,80%	28,40%	59,20%	65,10%	45,70%	39,40%	44,60%
UDI _{300-3000 lux}	82,19%	80,85%	80,95%	80,38%	80,58%	68,35%	82,52%
DF	3,70%	3,70%	3,70%	3,70%	3,60%	3,10%	3,60%
LEED ASE	24,90%	32,20%	56,10%	60,60%	12,10%	12,10%	12,10%

Fuente: elaboración propia

8.2.2.1. Rango útil de iluminancia (UDI300-3000) y autonomía espacial de luz diurna (sDA300, 50%)



En el Grupo 1, las **dimensiones de las ventanas** en relación 1/6, 1/5 y 1/4, presentan un % de UDI₃₀₀₋₃₀₀₀ muy similar (Tabla 8-4), lo que indicaría que no es el área de la ventana el elemento diferenciador (Figura 8-26), con el rango útil de iluminancia por encima del 70% del tiempo al año (Mardaljevic & Nabil, 2005).

Tabla 8-4: Dimensión de ventanas y rango útil de iluminancia $UDI_{300-3000\text{ lux}}$

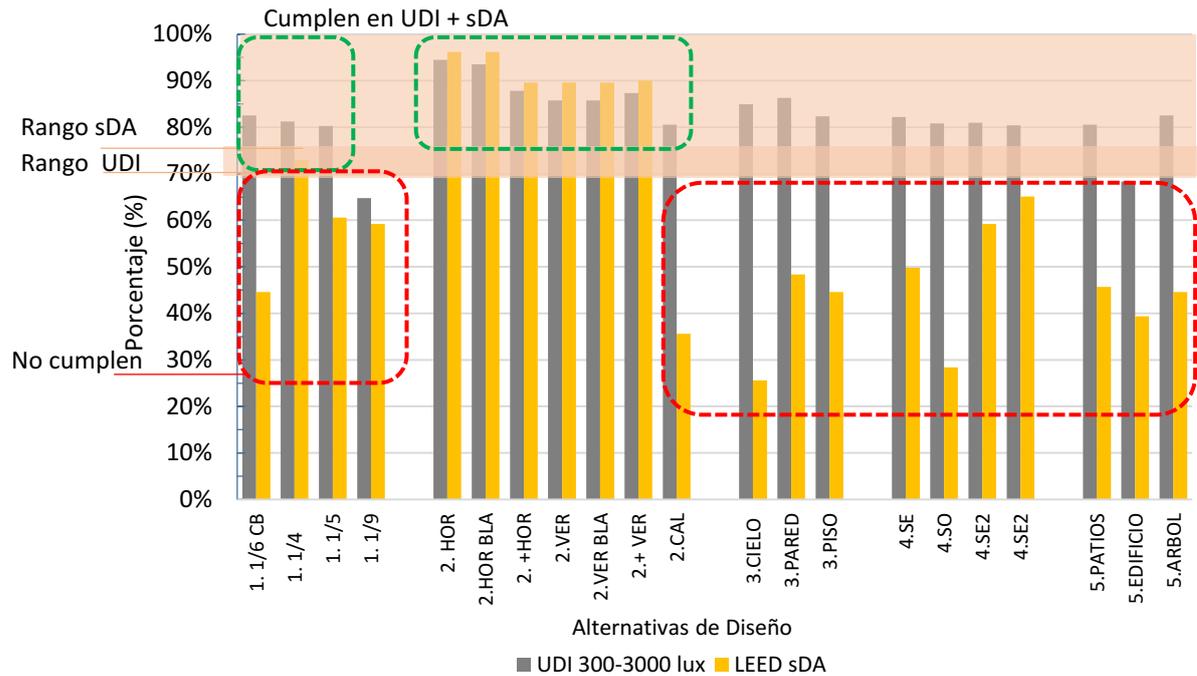
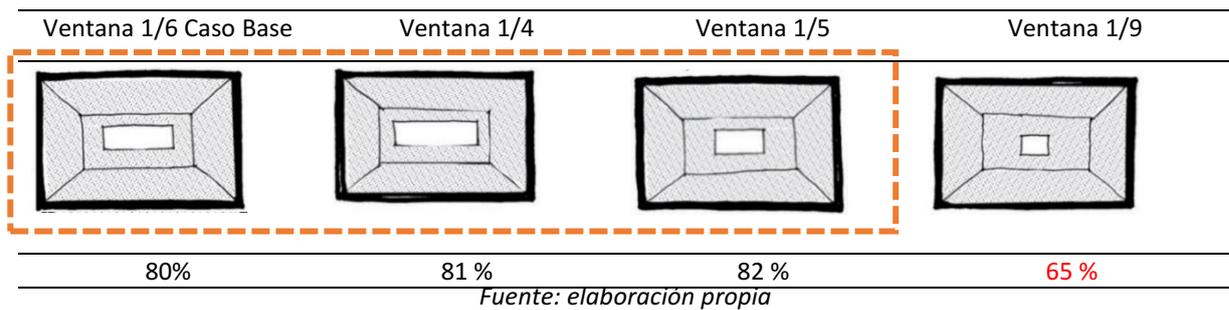


Figura 8-26: Comparación del $UDI_{300-3000}$ y el sDA entre los grupos de estrategias de diseño. Grupo 1: Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón, Grupo 2. Elementos de protección en fachada en modelo $\frac{1}{4}$, Grupo 3. Materiales en la envolvente del aula, Grupo 4. Alternativas de orientación y Grupo 5. Elementos del entorno.

No cumplen con $UDI_{300-3000}$ 70%: Relación 1/9
 Cumplen con $UDI_{300-3000}$: Relación: 1/6, 1/5, 1/4m, protecciones horizontales, verticales y calados, % de reflectancia, orientaciones y elementos del entorno > 70%.
 No cumplen con sDA 75%: Relación 1/6, 1/5, 1/9, calados, % de reflectancia, orientaciones y condición del contexto exterior
 Cumplen con sDA: Relación: 1/4m, protecciones horizontales y verticales, > 75%.
 Fuente: elaboración propia

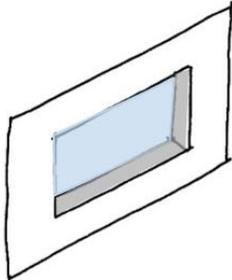
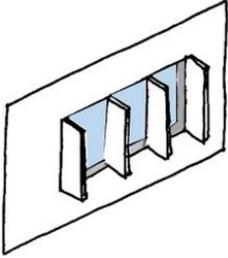
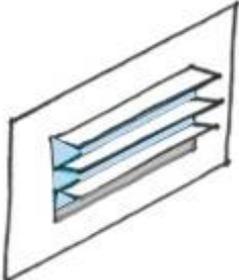
Vale la pena aclarar, que no solo se debe tener en cuenta el rango útil en las diferencias de las aberturas, ya que como bien lo indica Serra (1999), el contexto (tipo de cielo) como el del presente estudio y las altísimas claridades que aporta, puede tener efectos nocivos en la visibilidad, si no se tienen las consideraciones de aleros y otros elementos que la reduzcan y protejan (Evans y Schiller, 1988).

En relación con el tamaño de las aberturas, la relación 1/9 sugerida en la versión de la Norma del año 2015, y que representa la dimensión menor de área vidriada de fachada, condición recomendada por autores desde la comodidad térmica (Konya, 1980), tiene su origen en evitar problemas de aporte de energía térmica debido a la sobre iluminación en este tipo de climas (Evans y Schiller, 1988). La anterior estrategia (menor área vidriada) y el edificio enfrentado hacia la galería (5. Edificio), presentan menor nivel de iluminancia al recomendado, en detrimento de la calidad visual del espacio.



Por otra parte, las estrategias con **elementos de protección en fachada**, especialmente los horizontales (Konya, 1980), presentan el mejor $UDI_{300-3000}$ (Figura 8-26). De estas, las protecciones horizontales (3. HO y 3. HO BL) son las de mejor desempeño, con un 94%, seguido de las protecciones verticales (3.VE y 3.VE BLA) con 85% de $UDI_{300-3000}$ (Tabla 8-5).

Tabla 8-5: Dimensión de ventanas, $UDI_{300-3000 \text{ lux}}$ y $SDA_{300, 50\%}$

Modelo	1/6 Caso Base	VE (Protección Vertical)	HO (Protección Horizontal)
			
$UDI_{300-3000 \text{ lux}}$	82%	96%	89
$SDA_{300, 50\%}$	45%	90%	96%

Fuente: elaboración propia

Lo anterior evidencia lo conveniente de contar con elementos de protección, los que no sólo mejoran el rango útil en el espacio durante el año ($UDI_{300-3000 \text{ lux}}$), si no la distribución en el espacio de las iluminancias ($SDA_{300, 50\%}$), gracias a la reflexión de la luz que permiten estos elementos.

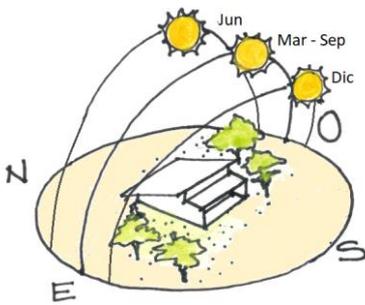


Figura 8-27: Orientación N-S

En cuanto a los **valores de reflectancia al interior**, en este caso diferentes alternativos no representaron la diferencia, entre un ambiente completamente claro frente a otro con superficies combinadas (2 paredes de color concreto gris a la vista y 2 paredes de color blanco).

Por el contrario, diferente **orientación** a la norte-sur y la exposición de la fachada vidriada hacia los ejes este-oeste (4. SE1 y SE) y oeste (4. SE1 y 4.SE2), no representan un mejor $UDI_{300-3000}$, por el contrario, presentan un comportamiento similar al caso “base” (1.1/6 CB) orientado hacia el sur.

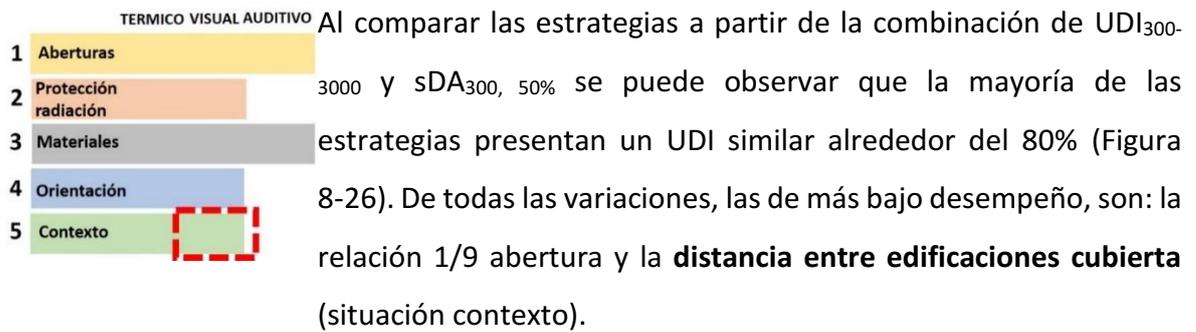
Esto reafirma la necesidad de una orientación norte-sur adecuada en la latitud del estudio, para alcanzar los niveles lumínicos adecuados y generar espacios cómodos visualmente (Díaz, Vásquez, Cano, y Cuervo, 2013). Además de la facilidad para el diseño y cálculo de las protecciones solares (Figura 8-27).

Tabla 8-6: $UDI_{300-3000 lux}$ y $SDA_{300, 50\%}$

Modelo	1/6 Caso Base	SE1 (45°)	SE 2 (67.5°)
$UDI_{300-3000 lux}$	82%	82%	80%
$SDA_{300, 50\%}$	45%	50%	60%

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la Tabla 8-6, el rango útil de iluminancia ($UDI_{300-3000 \text{ lux}}$) no sufre variaciones significativas con la rotación, mientras la distribución en el espacio ($SDA_{300, 50\%}$) si se incrementa en la medida en que la fachada se expone más hacia el eje Este-Oeste. Sin embargo, esta condición se debe complementar con el análisis del ingreso de sol directo o ASE y del Factor de luz diurna (DF) a continuación.



Por el contrario, el resto de las estrategias, cumplen en el 70% recomendado para el $UDI_{300-3000}$ (Mardaljevic y Nabil 2005). Las estrategias con mejor desempeño en las dos métricas son las que presentan la relación 1/4 de ventana (1.1/4) y elementos de protección solar horizontales y verticales (2.HO, 2. HOR BL, 2.+HOR, 2. VE, 2.VE BL, 2. + VER), reafirmando la validez de dicha recomendación para el confort visual en este tipo de clima (Evans y Schiller, 1988; Konya, 1980). Mientras el UDI es bastante homogéneo. Como se indicó anteriormente, las variaciones más marcadas se presentan en el SDA, con porcentajes entre 20% y 100%.

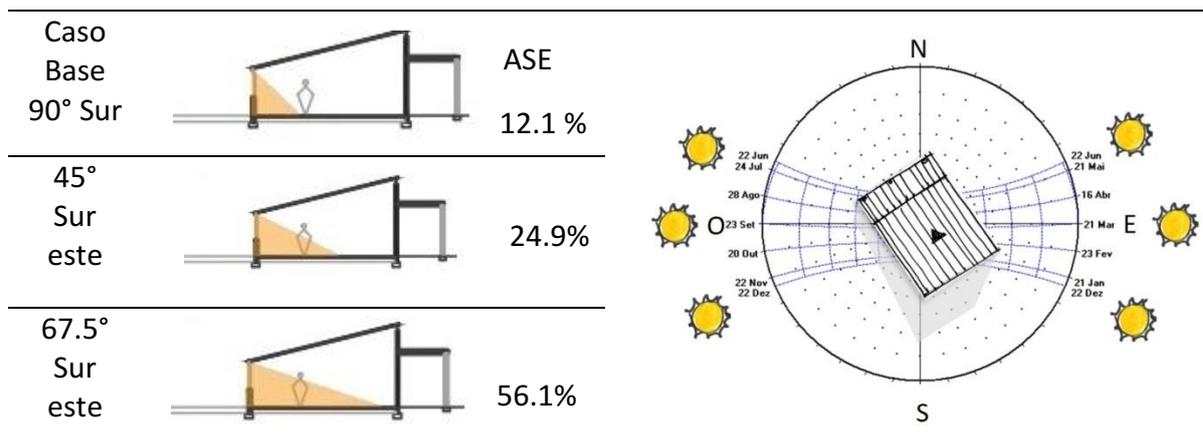
Además de las variaciones que cumplen en los dos rangos UDI y sDA nombradas anteriormente, Las demás alternativas no alcanzan el 75% valor mínimo recomendado para el SDA (Illuminating Engineering Society, 2012). Esto indica que mientras en el aula se presentan los valores recomendados, los mismos no se distribuyen en el 75% del área del salón el 50% del tiempo (Figura 8-26).

8.2.2.2. Exposición solar anual (ASE) y Factor Luz Día (FLD)

Al igual que en las métricas anteriores, las estrategias con elementos de protección horizontal son las que presentan mejor desempeño, caso contrario a las rotaciones, las que resultan con

los desempeños más bajos. La exposición de la fachada incrementa el ingreso de sol directo de manera proporcional, es así como a medida que la el área de ventana se expone más hacia el este, la proporción de luz solar directa que ingresa es mayor, como se puede observar en la Tabla 8-7.

Tabla 8-7: Orientación. Fachada expuesta a 90°, 67.5° y 45° al Sur-este y Porcentaje de ASE



Fuente: Elaboración propia

Al igual que en las métricas anteriores, las estrategias con elementos de protección horizontal en concreto (2. HO), más elementos de protección solar (2. +HO) y protección horizontal de color claro (2. HO BL), son las que presentan mejor desempeño, demostrando la efectividad de estas protecciones frente a los ángulos de inclinación y azimut solar en esta orientación y en la latitud tropical del caso de estudio (Konya, 1980).

El detalle del desempeño bajo la métrica ASE se presenta en la Figura 8-28. Bajo esta métrica, la mayoría de las estrategias sobrepasan el porcentaje mínimo de 10% recomendado (U.S. Green Building Council-USGBC, 2013).

Los casos más críticos lo representan las estrategias con rotación de la fachada vidriada hacia el sureste 45° (SE) 67.5° (SE2), suroeste 45° (SO), y 67.5° (SO2), con ingreso de luz directa al espacio por encima del 25%, demostrando lo inadecuado de ésta sobre exposición en el caso de estudio.

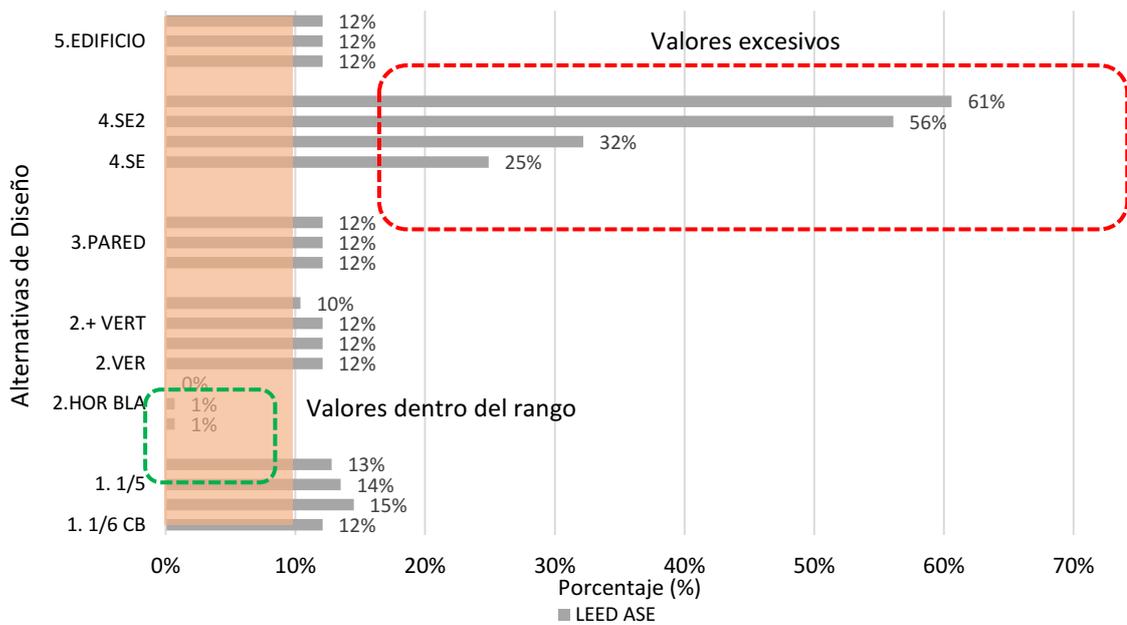


Figura 8-28: Comparación (ASE: Exposición solar anual) estrategias de diseño
 Cumplen con ASE ≤10%: Grupo 2: Protección solar horizontal, protección solar horizontal color claro y más protecciones horizontales
 No cumplen con ASE: Grupo 4: Orientaciones al sureste 45°(SE) 67.5° (SE2), suroeste 45° (SO), y 67.5° (SO2)
 Fuente: elaboración propia

En cuanto al DF, la mayoría de las estrategias cumplen con valores superiores al 2%, evidenciándose índices por sobre los valores máximos de la norma, lo que implica niveles de luminancia interior excesivos o interpretándolos desde el diseño de la envolvente, ésta no “filtra” de manera correcta la luminancia exterior en función del tipo de cielo para un clima tropical. El DF aumenta proporcionalmente con el área de la fachada (Tabla 8-8), presentando los mayores valores en las mayores área vidriadas, especialmente en la proporción 1/4 correspondiente a las aulas estudiadas (Figura 8-29).

Tabla 8-8: Dimensión de ventanas y DF

1/6 Caso Base	1/4	1/5	1/9
3.6 %	6.1 %	5.0 %	2.8 %

Fuente: elaboración propia

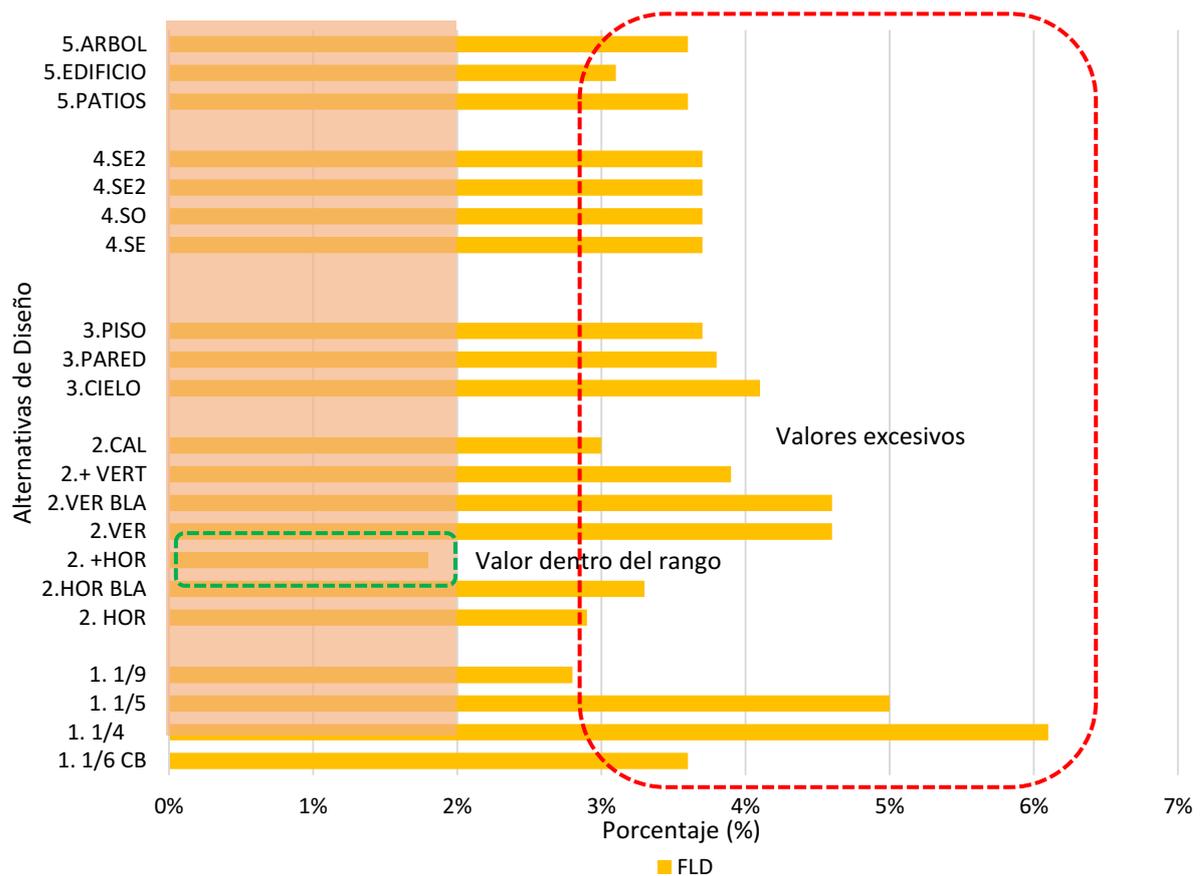


Figura 8-29: Comparación (ASE: Exposición solar anual) estrategias de diseño

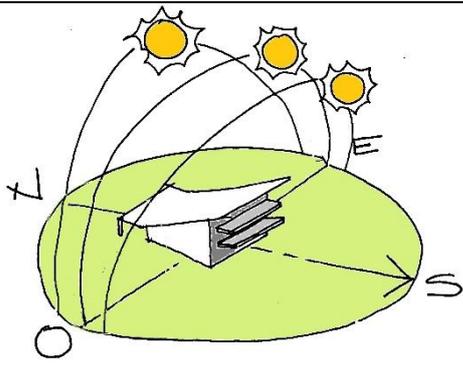
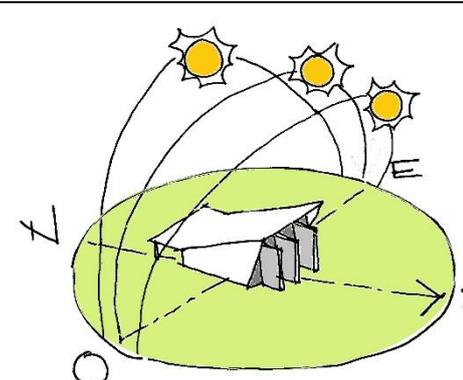
Cumplen con ASE: Grupo 2: Más protecciones horizontales

No cumplen con ASE: Grupo 1: Dimensión de las ventanas en relación con el área del salón, Grupo 2.Elementos de protección en fachada en modelo ¼ excepto más protecciones horizontales, Grupo 3.Materiales en la envolvente del aula, Grupo 4. Alternativas de orientación y Grupo 5. Elementos del entorno.

Fuente: elaboración propia

Los menores valores se presentan en las estrategias que presentan más protecciones horizontales (2.+HOR). Por otro lado, las variaciones con protecciones verticales del Grupo 2 (2.VER, 2.VER BL), Grupo 3 como el cielo de color blanco (3.CIELO), mostrando la efectividad de las protecciones horizontales en las fachadas norte y sur frente a las verticales (Konya, 1980) y del cielo en color claro como estrategia para reflejar la luz al interior (Evans y Schiller, 1988), (Tabla 8-9).

Tabla 8-9: Elementos de Protección y porcentaje de ASE

HO (Protecciones Horizontales)	VER (Protecciones Verticales)
	
De 0 % a 1 %	12%

Fuente: Elaboración propia

8.2.3. Validación de la situación real y optimizada: Confort auditivo

Al validar las condiciones del caso base con la situación medida en las aulas estudiadas, los días de la encuesta, se registran resultados similares al caso base simulado (ventana 1/6), con tiempo de reverberación que supera el rango de confort (0.90 a 1.0 seg.) indicado por la norma (ICONTEC, 2015), (Para ver el detalle de los resultados de la simulación ver Anexo 17). Las alternativas de diseño aplicadas al caso base (Figura 8-30) se analizan a continuación:

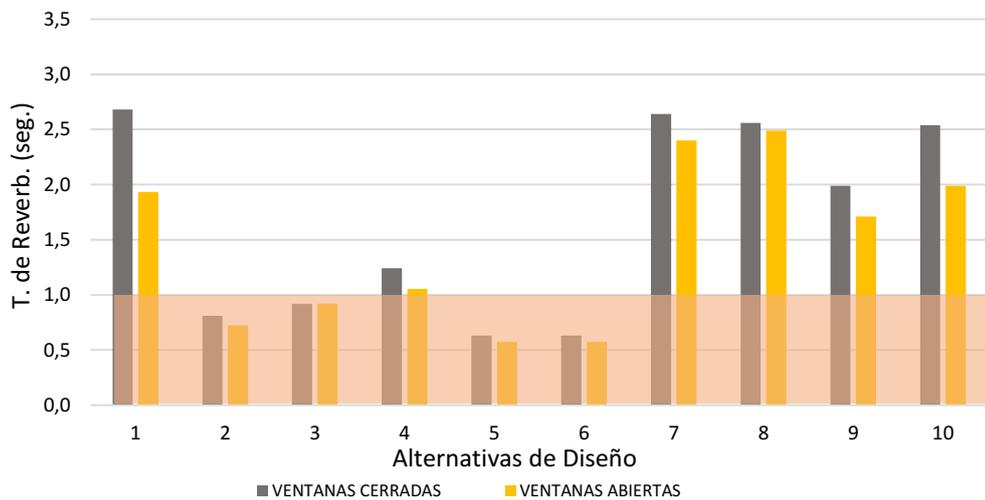


Figura 8-30: Validación del caso base y estrategias de diseño aplicadas

No. 1. Caso base (ventana 1/6), 2. Muros no enfrentados a la fachada-alfombra, 3. Muros enfrentados a la fachada-alfombra, 4. Altura medio muro-Alfombra, 5. Piso alfombra, 6. Cielo alfombra, 7. Muros no enfrentados a la fachada concreto rugoso, 8. Suelo en baldosa o Liso, 9. Cielo en Acabado metálico (Steel Deck), 10. Cielo en acabado panel yeso

Fuente: elaboración propia



Como se muestra en la Figura 8-30, el mejor comportamiento se alcanza con estrategias como las 2 y 3 en donde se aplican **materiales absorbentes a la totalidad de la superficies** de las paredes del salón. También las alternativas 5 y 6 en donde el material absorbente se aplica al **piso y al cielo raso**

Lo anterior comprueba la eficacia del material que actúa como absorbente acústico, el cual absorbe la energía acústica (Konya, 1980). Caso contrario es el comportamiento de las alternativas 1, 7, 8, 9 y 10, las cuales no presentan **ningún tipo de acondicionamiento**, excediendo el límite del tiempo de reverberación, alcanzando valores por encima de 2.5 seg., en situación de ventanas cerradas (Figura 8-30).

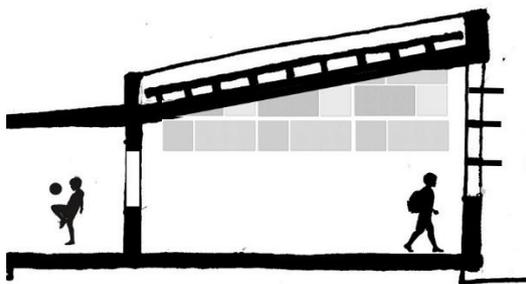


Figura 8-31: Aislamiento a la mitad de pared

También se puede observar en la Figura 8-30, que en el caso base (1/6) cuando el área ocupada en los muros por el **material absorbente ocupa sólo la mitad superior** (Figura 8-31), como la alternativa 4 (tal y como lo recomienda la norma NTC 4595), el comportamiento desmejora, excediendo el rango máximo de 1 segundo.

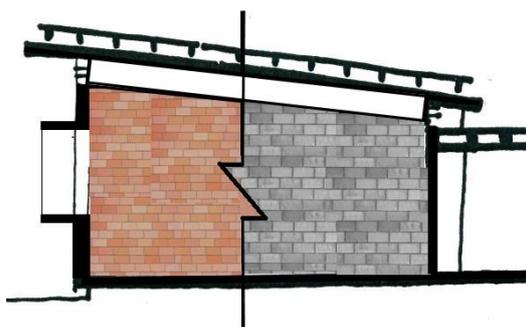


Figura 8-32: Materiales a la vista sin tratamiento acústico

Queda también en evidencia que cuando la característica del **espacio es sin acondicionamiento**, como es el caso de las aulas estudiadas, con el bloque o ladrillo a la vista, sin tratamiento en cielo y en piso, como son las alternativas de la 7 a la 10, los resultados exceden los niveles permitidos (Figura 8-32).

En la Tabla 8-10 se presentan los resultados de la simulación de las estrategias de diseño, aplicadas al caso base y a otras dos dimensiones de ventanas, resaltando en color rojo los valores que exceden el rango, así:

Tabla 8-10: Síntesis de las alternativas de simulación auditiva, tiempo de reverberación en segundos (s).

ALTERNATIVAS	VENTANA 1/6		VENTANA 1/4		VENTANA 1/9	
	CERRADAS	ABIERTAS	CERRADAS	ABIERTAS	CERRADAS	ABIERTAS
1 Dimensión de ventanas	2,68	1,93	2,03	1,08	2,90	2,27
2 Muros NO enfrentados a la fachada –Alfombra-	0,81	0,72	0,68	0,50	0,83	0,77
3 Muros enfrentados a la fachada –Alfombra	0,92	0,92	*	0,50	0,93	0,85
4 Altura medio muro – Alfombra	1,24	1,06	1,04	0,82	1,24	1,10
5 Piso –Alfombra	0,63	0,58	0,53	0,40	0,64	0,60
6 Cielo –Alfombra	0,63	0,58	0,53	0,40	0,64	0,60
7 Muros NO enfrentados a la fachada –Concreto rugoso	2,64	2,40	2,29	1,09	3,44	2,58
8 Suelo –Baldosa o liso	2,56	2,49	2,03	1,02	3,30	2,50
9 Cielo metálico	1,99	1,71	2,01	1,24	2,05	1,71
10 Cielo en panel yeso	2,54	1,99	1,80	0,95	2,47	1,99

En rojo valores que exceden el rango.

*Dato perdido

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta las gráficas con la comparación del comportamiento de las estrategias en las aulas con diferente tamaño de ventanas en situación de ventanas cerradas (Figura 8-33) y ventanas abiertas (Figura 8-34):

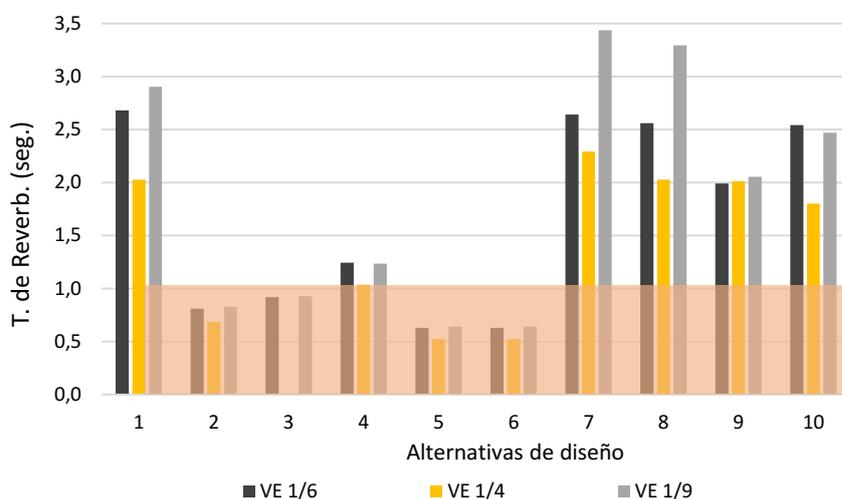


Figura 8-33: Ventanas cerradas

1. Dimensiones de ventanas, 2. Muros no enfrentados a la fachada-alfombra, 3. Muros enfrentados a la fachada-alfombra, 4. Altura medio muro-Alfombra, 5. Piso alfombra, 6. Cielo alfombra, 7. Muros no enfrentados a la fachada concreto rugoso, 8. Suelo en baldosa o Liso, 9. Cielo en Acabado metálico (Steel Deck), 10. Cielo en acabado panel yeso
- Cuadro naranja: rango de confort

Fuente: elaboración propia

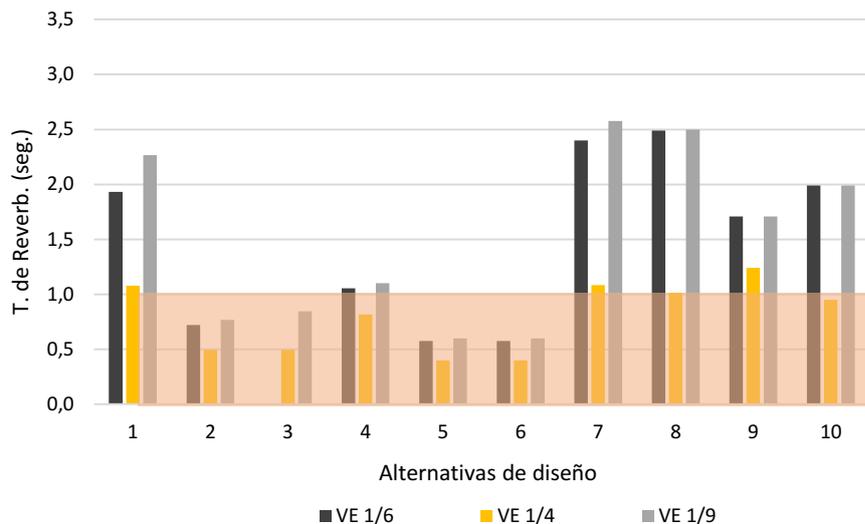


Figura 8-34: Ventanas abiertas

1. Dimensiones de ventanas, 2. Muros no enfrentados a la fachada-alfombra, 3. Muros enfrentados a la fachada-alfombra, 4. Altura medio muro-Alfombra, 5. Piso alfombra, 6. Cielo alfombra, 7. Muros no enfrentados a la fachada concreto rugoso, 8. Suelo en baldosa o Liso, 9. Cielo en Acabado metálico (Steel Deck), 10. Cielo en acabado panel yeso

Cuadro naranja: rango de confort

Fuente: elaboración propia



Al comparar las estrategias de diseño en las **diferentes aberturas** propuestas por la norma en situación de ventanas cerradas (Figura 8-33) y abiertas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se puede observar que el comportamiento es similar al desarrollado en el caso base.

Por una parte, las mejores estrategias continúan siendo las No. 2, 3, 5 y 6, correspondientes al tratamiento completo en las superficies de las paredes, y en el piso Tabla 8-11.

Tabla 8-11: Comparación en el tiempo de reverberación modelo 1/4 y 1/9

Alternativa No.	No. 5: Piso	No. 6: Techo	No. 2: 100% de la pared NO enfrentada a fachada
Modelo			
1/4	0.53 (s)	0.53 (s)	0.68 (s)
1/9	0.64 (s)	0.64 (s)	0.98 (s)

Fuente: elaboración propia

Entre las estrategias con el tiempo de reverberación dentro del rango es la 4 con la **presencia de material absorbente en la mitad de la superficie** hacia la parte superior, en la situación de ventana abierta en el modelo de mayor tamaño de ventana (1/4), lo que mejora el tiempo de reverberación, pero desmejora el aislamiento acústico (Figura 8-34).

8.2.4. Síntesis de estrategias para el Confort en aulas del trópico

Las siguientes estrategias arquitectónicas, morfológicas, y de diseño, se basan en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595, la cual tiene por objetivo alcanzar la comodidad ambiental en escuelas. Para ello se seleccionó una escuela de construcción oficial de la ciudad de Cali, Colombia, y se desarrolló un modelo de simulación térmica de la misma, centrándose en el análisis del espacio prioritario de la misma, el aula.

El modelo base buscó representar de la manera más fehaciente el edificio, en base a un conocimiento previo del mismo y de la realización de la Auditoría Ambiental de Percepción del Usuario-AAPU.

Los análisis de la situación real y de las alternativas de diseño, se centró en el tema térmico, en el confort bajo los dos modelos Analítico y Adaptativo, basándose en el ANSI/ASHRAE Standard 55 (2017). Para el caso visual, el análisis estuvo centrado en las métricas dinámicas, las cuales dieron cuenta de la condición lumínica anual. Y para el caso auditivo, se simuló el tiempo de reverberación en lo que puede ser una condición estándar del aula, a partir de las características del acondicionamiento acústico.



De las alternativas de dimensiones de ventanas, es la alternativa 1/9 la que queda con rango útil por debajo de los valores adecuados en 64.8%, las otras tres alternativas, en el caso visual, presentan valores que pueden estar acorde. En el sDA sólo el modelo 1/4 resulta cercano al límite permitido y el ingreso de luz directa (ASE) alcanza a sobrepasar el 10% acertado (Figura 8-35).

Como se demostró a lo largo del análisis de las estrategias de **dimensión de ventanas**, los modelos térmicos arrojaron T_o y valores de confort similares. Esto indica que las estrategias visuales y auditivas son las que presentan diferencias marcadas entre las estrategias. A continuación, se presenta la síntesis de los resultados.

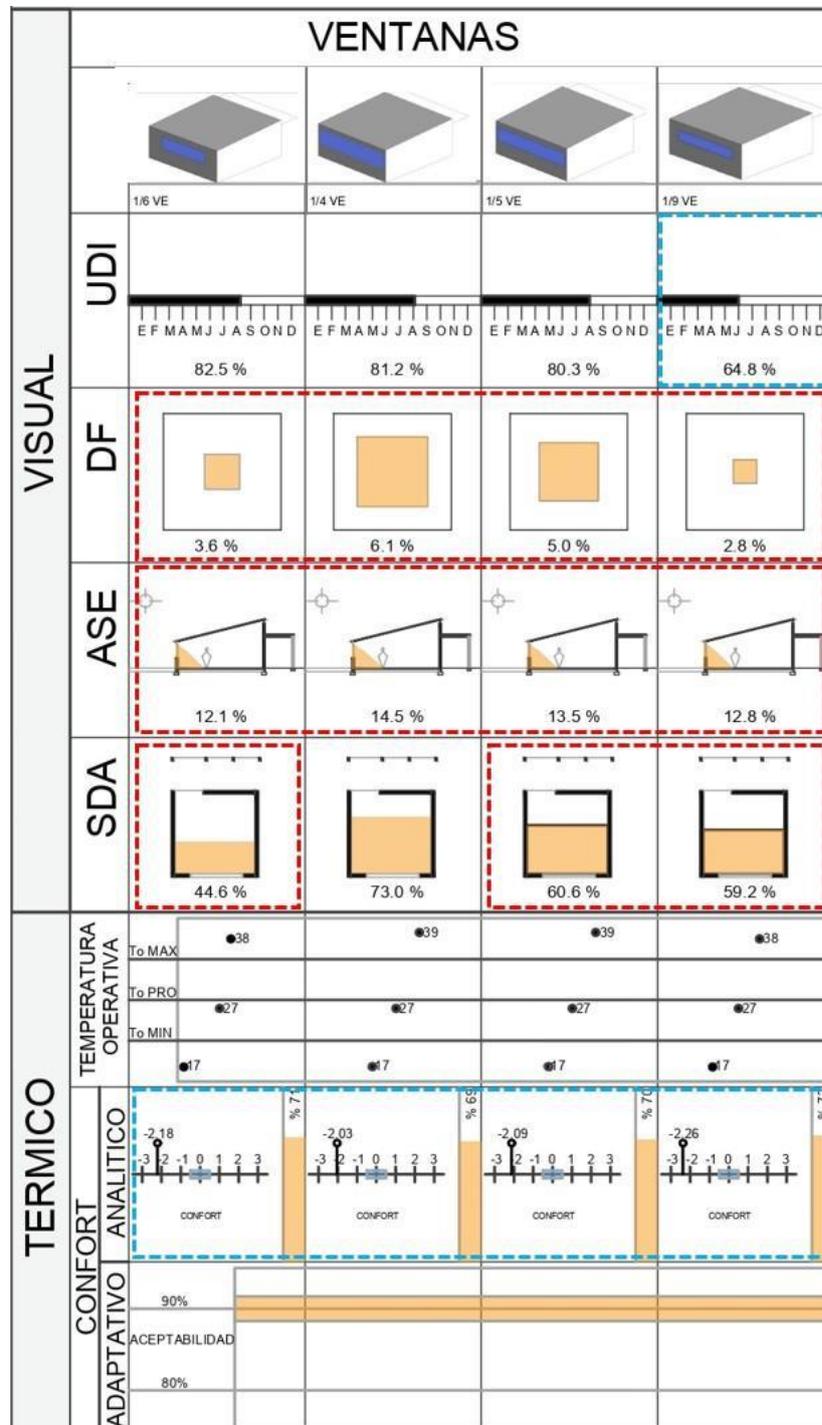


Figura 8-35: Síntesis dimensión de ventanas para el confort térmicos y visual
 Rectángulo rojo: las alternativas que exceden y en azul: por debajo del rango
 Fuente: elaboración propia

Al contrastar la **dimensión de las ventanas** en el tema auditivo se presenta en la Figura 8-36, como las tres alternativas pueden ser validas, siempre y cuando presenten un grado de acondicionamiento al interior de las superficies. Cuando las alternativas no tienen ningún tipo de acondicionamiento, ninguna de las tres logra el tiempo de reverberación permitido.

AUDITIVO	VENTANA CERRADA					
	1/6 VE		1/4 VE		1/9 VE	
	REV. TIME	ABSORP TIME	REV. TIME	ABSORP TIME	REV. TIME	ABSORP TIME
MUROS NO ENFRENTADOS A LA FACHADA ALFOMBRADA	0.81	0.17	0.68	0.17	0.83	0.17
MUROS ENFRENTADOS A LA FACHADA ALFOMBRADA	0.92	0.15	2.03	0.06	0.93	0.15
ALTURA MEDIO MURO-ALFOMBRA	1.24	0.11	1.04	0.11	1.24	0.12
PISO-ALFOMBRA	0.63	0.22	0.53	0.21	0.64	0.22
CIELO-ALFOMBRA	0.63	0.22	0.53	0.21	0.64	0.22
MUROS NO ENFRENTADOS A LA FACHADA CONCRETO RUGOSO	2.64	0.05	2.29	0.05	3.44	0.04
SUELO EN BALDOSA O LISO	2.56	0.06	2.03	0.06	3.30	0.04
CIELO EN ACABADO METALICO (STELL DECK)	1.99	0.07	2.01	0.06	2.05	0.07
CIELO EN ACABADO PANEL YESO	2.54	0.05	1.80	0.07	0.68	0.06

Figura 8-36: Síntesis alternativas de tamaños de ventanas, confort auditivo
 Rectángulo rojo: las alternativas que exceden y en azul: por debajo del rango
 Fuente: elaboración propia

En cuanto a las alternativas con elementos de **protección en fachada**, se puede observar, en la Figura 8-37, que presentan un mejor desempeño en las alternativas visuales y térmicas los

elementos de protección horizontal, frente a los verticales y calados (señalados en el recuadro).

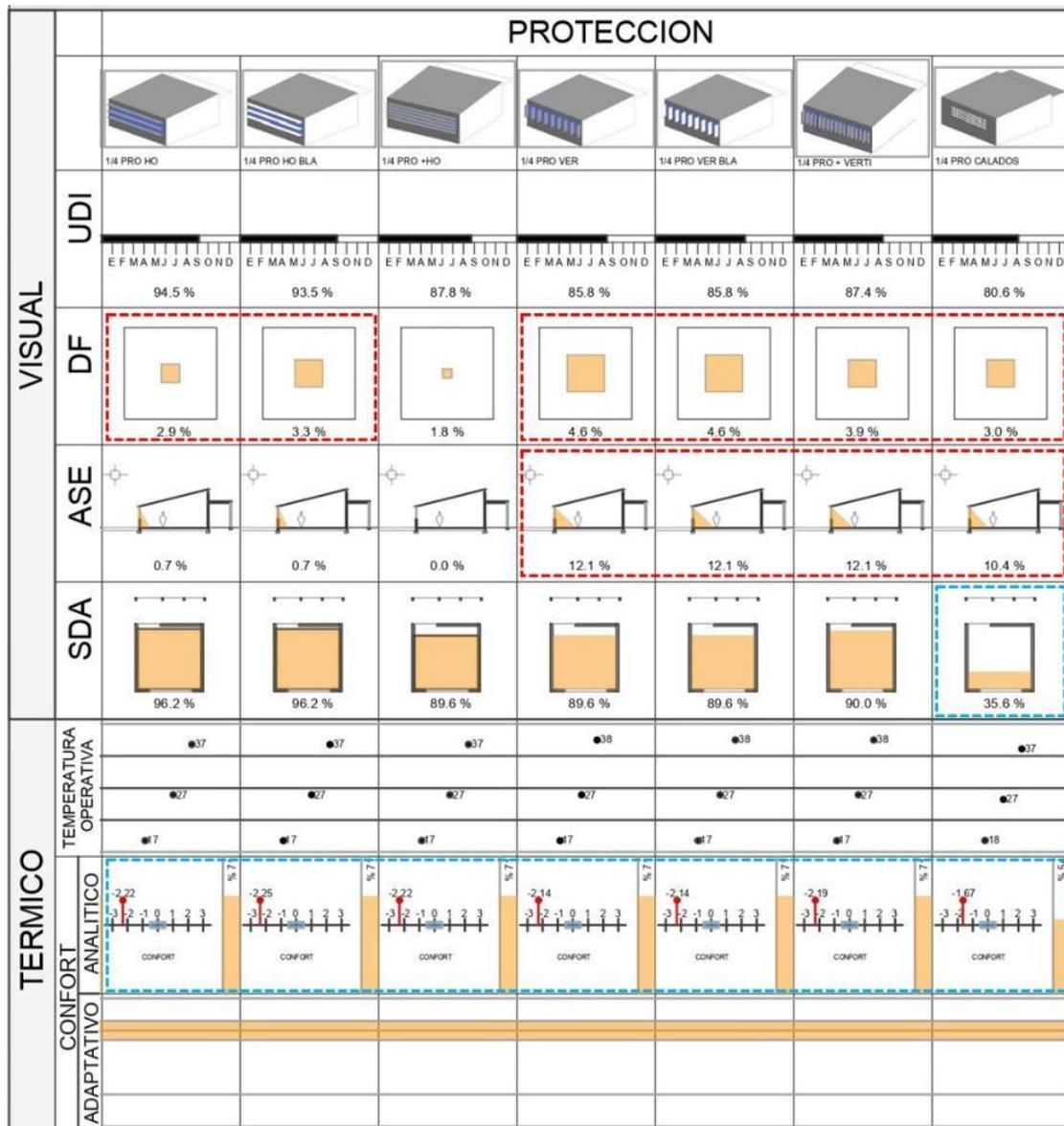


Figura 8-37: Síntesis dimensión de ventanas para el confort térmico y visual
 Rectángulo rojo: las alternativas que exceden y en azul: por debajo del rango
 Fuente: elaboración propia



Los elementos de protección horizontal, presentan rangos adecuados de UDI, DF, ASE y sDA, en lo visual, mientras que en lo térmico presentan más bajas temperaturas operativas. Por su parte, las alternativas de protección vertical, a pesar de presentar rangos adecuados de UDI y sDA, los valores de DF y ASE exceden los valores recomendados y hay incremento de To.

Por otro lado, la distribución espacial sDA, tampoco evidencia una mejora solo con el recurso del color Figura 8-38.

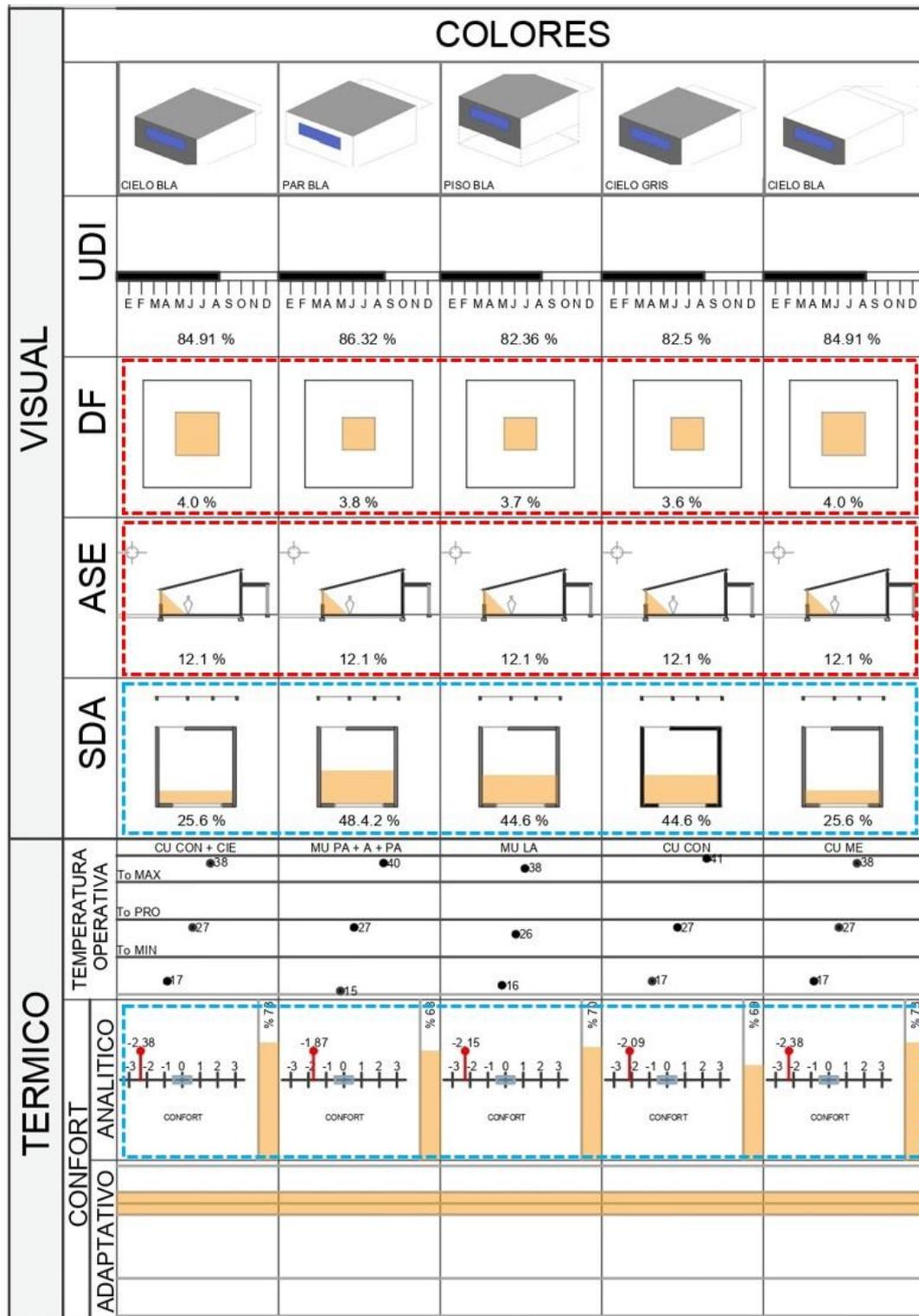


Figura 8-38: Síntesis dimensión de ventanas para el confort térmico y visual
Rectángulo rojo: las alternativas que exceden y en azul: por debajo del rango

Fuente: elaboración propia

- TERMICO VISUAL AUDITIVO
- 1 Aberturas
 - 2 Protección radiación
 - 3 Materiales
 - 4 Orientación
 - 5 Contexto

Al **explorar alternativas de reflectancia al interior**, con acabado gris oscuro en alguna de las superficies, y claro en otras, permanecen los porcentajes de UDI, sin embargo, el sDA disminuye, mientras el DF aumenta, con el agravante que si la cubierta en losa de concreto gris, o los muros de panel yeso, así el acabado sea claro, se presentan aumentos de la To.

Finalmente, los calados, si bien alcanzan el rango de UDI, ASE y conserva la To más baja; los valores de DF y SDA no son los adecuados (Figura 8-37).

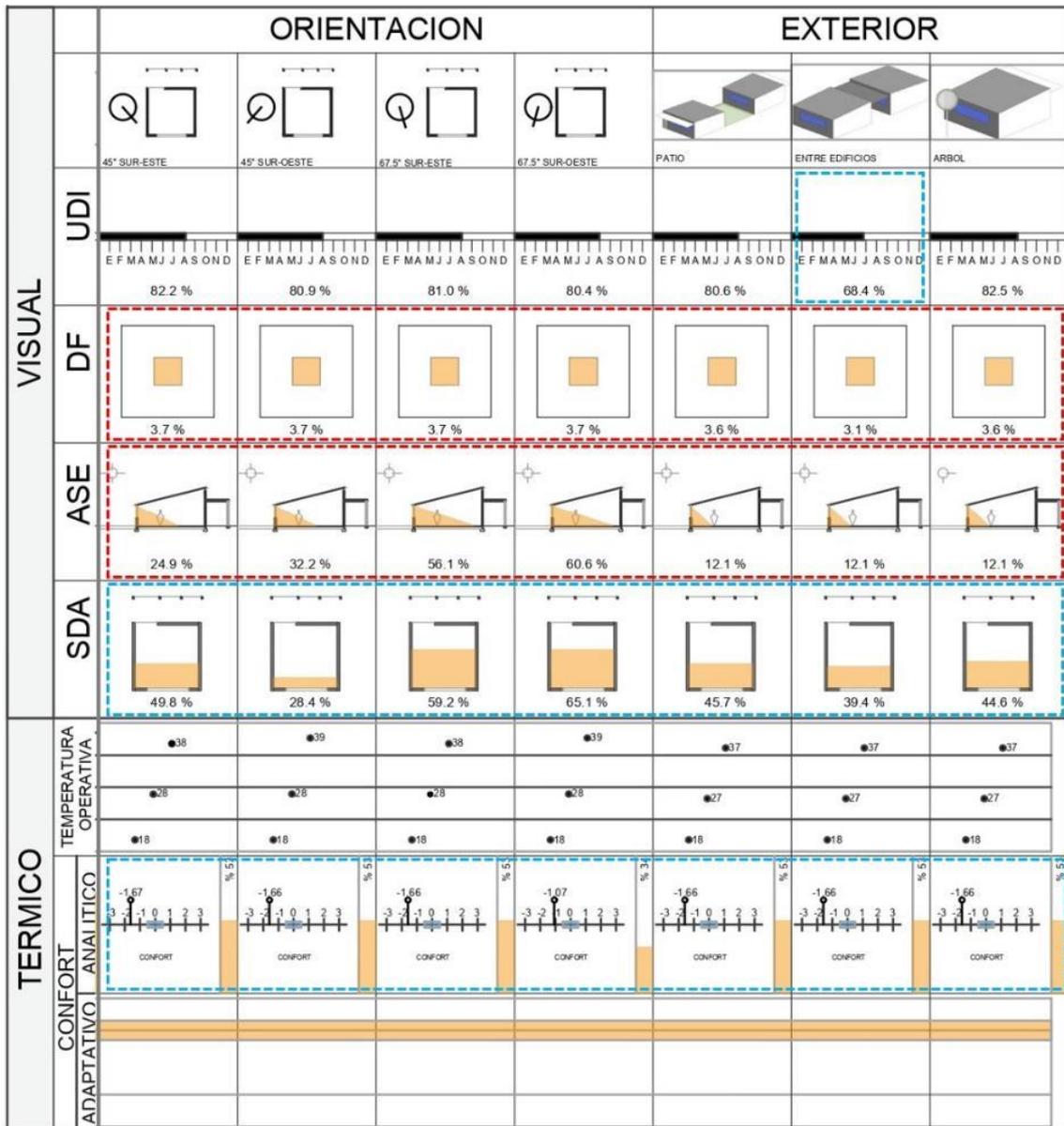


Figura 8-39: Síntesis dimensión de ventanas para el confort térmico y visual
Rectángulo rojo: las alternativas que exceden y en azul: por debajo del rango

Fuente: elaboración propia



En cuanto a los últimos grupos de alternativas (Figura 8-39), las **alternativas de rotación** a pesar de conservar rangos útiles adecuados, el ingreso de sol es el más alto de todas las estrategias, el FLD se incrementa, al igual que la ganancia de T_o al interior.

Por otro lado, las alternativas que se presentan del exterior Figura 8-39, la de separación entre edificios (reducida) es la que más bajo UDI y sDA alcanza, aun cuando las T_o no son las mayores. Las otras alternativas como patio y árbol presentan un buen rango, sin embargo, sin la protección de los aventanamientos de la fachada, el CLD es excesivo.

8.3. Etapa 3: Generación de las alternativas de diseño para aulas en el trópico

Como se ha demostrado a lo largo del estudio, la configuración arquitectónica produce efectos directos en los temas del confort. Las estrategias simuladas en cada uno de los componentes del confort a la luz de la norma NTC 4595 se analizaron a partir de:

- **Confort térmico:** sobre la velocidad del aire (V_a), temperatura del aire (T_a) y la temperatura media radiante T_{mr} .
- **Confort visual:** niveles y distribución de iluminancias e ingreso de sol directo
- **Confort auditivo:** Ruido de fondo y tiempo de reverberación
-

Para una mayor ilustración de las recomendaciones para diseñar aulas confortables, se presentan en primer lugar las estrategias que apuntan al mejoramiento de cada tema (térmico, visual y auditivo) y, posteriormente se sintetizan las de mejor comportamiento integral. Sin embargo, las recomendaciones se basan en principios generales del confort, siendo complementarias y con posibilidad de aplicar de diversas maneras a criterio de los proyectistas.

8.3.1. Alternativas para el confort térmico

El desempeño térmico alcanzado en las estrategias de diseño a la luz de la norma NTC 4595, y bajo el análisis del rango propuesto por el modelo adaptativo, permiten concluir el comportamiento desde los siguientes temas Temperatura ambiente (T_a), la Temperatura media radiante (T_{mr}) y la v_a para un mejoramiento de la T_o analizada.

Para la **Ta** se debe tener presente que solo la carga térmica tenderá a calentar el ambiente, incrementando su valor. Para esto se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

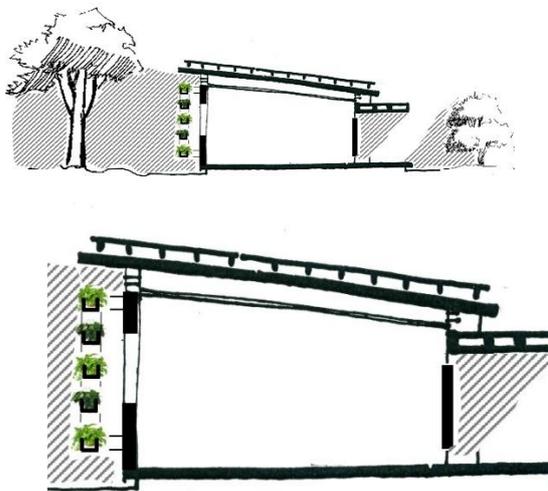


Figura 8-40: Elementos del contexto

UNO. Desde los **elementos del contexto**, minimizar la carga térmica sobre la envolvente: muros, techos, ventanas y superficies exteriores inmediatas, con elementos que proporcionen sombreado, adicional a doble fachadas ventiladas y otros elementos que promuevan el fenómeno de movimiento de aire explicados anteriormente (Figura 8-40), los cuales reducen hasta 0.5 en la T_o máxima.

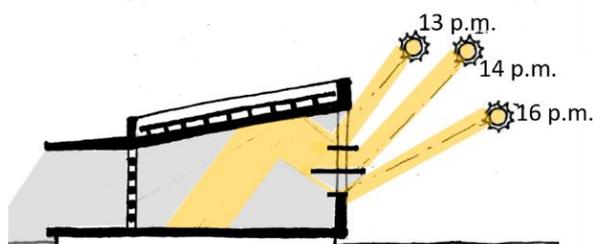


Figura 8-41: Protecciones horizontales + estantes de luz

DOS. Para minimizar la carga térmica sobre las aberturas, es imprescindible la presencia de **protecciones de aventanamientos**, como aleros o parasoles horizontales, en las fachadas norte y sur los cuales, con una mayor exploración de sus propiedades lumínicas, pueden actuar como estantes de luz que favorezcan una mayor distribución de la luz natural al interior (Figura 8-41).

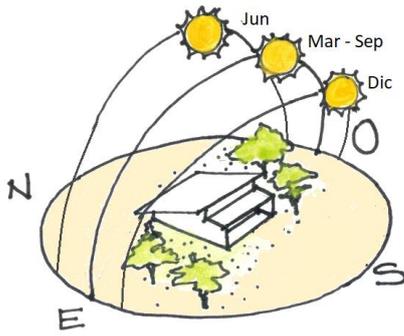


Figura 8-42: Orientación eje N-S

TRES. En cuanto a la **orientación de las protecciones**, es recomendable hacia el norte y sur. Entendiendo que este tipo de protecciones es indispensable para la situación climática y geográfica. Considerada especialmente en las orientaciones Este-oeste, pero no necesariamente (desde el confort térmico) en la norte y sur (Figura 8-42).

CUATRO. Aumentar la resistencia térmica (R) de la envolvente edilicia. En este sentido, la recomendación de la norma de preferir **materiales masivos en la envolvente**, frente a otros más ligeros es favorable (Figura 8-43).

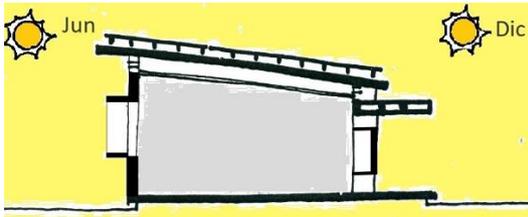
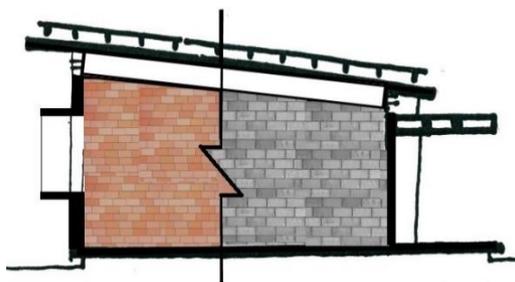


Figura 8-43: Masa térmica

Dichos materiales demuestran mejor comportamiento frente a los materiales ligeros (Konya, 1980), en este caso la placa de panel yeso la cual aumentó la T_o hasta 2°C por encima del bloque de concreto.



$T_o \text{ Max} = \text{Ladrillo} = 33.5^{\circ}\text{C}$ y $\text{Bloque concreto} = 33^{\circ}\text{C}$

Figura 8-44: Masa térmica 2

CINCO. La distinción que realiza la norma entre **materiales**, como el bloque de concreto y el de ladrillo (prefiriendo el primero) (ICONTEC, 2015), no tuvo relevancia en el estudio, ya que presentaron comportamiento similar con diferencia de 0.5°C en la T_o máxima (Figura 8-44).

SEIS. En el caso de los **muros**, la resistencia propia de los materiales convencionales, como el bloque de concreto y ladrillo (con valores de Resistencia (R)= 0.13 y $0.12 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ respectivamente) (Cengel y BOLES, 2009), no son suficientes para mantener el espacio en

confort. Sin embargo, como bien lo expresa Serra (1999), no todo el peso del desempeño térmico se le pueden cargar a las paredes, ya que presentan accidentes, aberturas y otras irregularidades que afectan los flujos de calor y sobre todo, frente a condiciones cambiantes, especialmente en aulas como las estudiadas con alta permeabilidad.

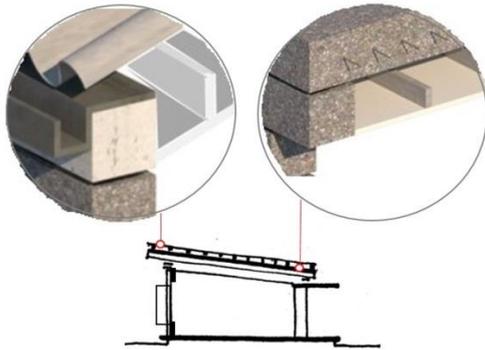


Figura 8-45: Cubierta con cámara de aire

SIETE. En la misma línea, se demostró que las **cubiertas metálicas o en concreto**, por más que cuenten con cámara de aire y aislación térmica, exceden el rango de temperatura. En el caso de la cubierta metálica con aislación del caso base, a pesar que presenta temperaturas similares a la cubierta de las mismas características con cámara de aire en concreto, la segunda (concreto) permanece 1 hora más en confort (Figura 8-45).

Lo anterior, se presenta contrario a la afirmación de autores como Konya (1980), quienes sostienen que cubiertas con materiales reflectantes con cámara de aire pueden disminuir dos o tres veces el valor anterior.

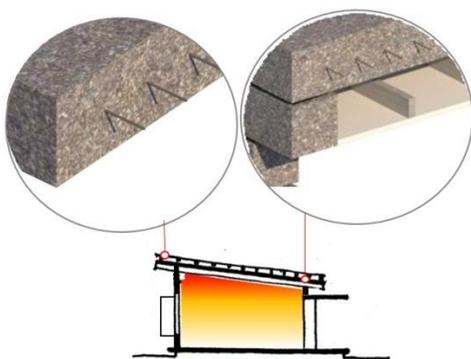


Figura 8-46: Cubierta en losa de concreto

OCHO. La **cámara de aire** demostró su efectividad en cubierta tipo losa en concreto maciza, la cual alcanzó 36°C, frente a 3.5°C menos que logró la misma cubierta con la cámara de aire. Sin embargo, ambas opciones exceden las T_o de confort (Figura 8-46).

NUEVE. La **cubierta** tipo sándwich en todos los casos ($R= 0.70 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$) (Cengel y BOLES, 2009), no alcanza a conservar el espacio en confort a partir de las 11:30 hs, ya que en este tipo

de climas, la cubierta es la que recibe el impacto principal de la radiación solar (Evans y Schiller, 1988).

La configuración arquitectónica tiene incidencia directa en la temperatura de cada superficie, y por consiguiente en la **Tmr**, como también en el acabado de las superficies. En el caso de la **Tmr** se puede trabajar como en el caso del presente estudio, con programas de cálculo desarrollados localmente para identificar la Tmr (Forbes, 2017). Para mejorar este parámetro se debe tener en cuenta:

DIEZ. Se deben explorar **materiales con baja emisividad**, que en el caso del aluminio es la más baja, explorado en otros trabajos aplicados a vivienda social en Cali (Gamboa, Rosillo, Herrera, Lopez, y Iglesias, 2011), como barrera radiante en el contexto tropical, con resultados muy favorables en la disminución de las temperaturas al interior.

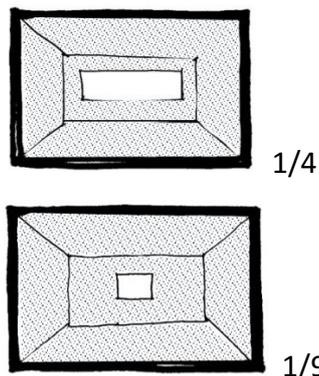


Figura 8-47: Dimensión ventanas relación 1/4 y 1/9.

ONCE. Con relación al **área de vidriados**, se concluyó que funciona mejor térmicamente una menor área de ventana (con una relación de área ventana vs. área de piso en planta de 1/9), que mayor área de ventana (relación 1/4). Situación recomendada por la mayoría de los autores para clima cálido seco (Figura 8-47).

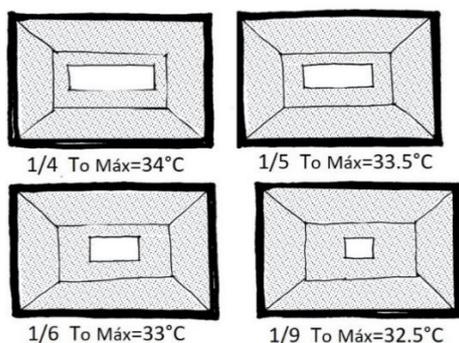


Figura 8-48: Dimensión de ventanas t To máxima

DOCE. Sin embargo, la diferencia entre las distintas dimensiones no es muy marcada (1.5°C) y de una hora aproximada de confort en el día. Reafirmando la necesidad de hacer énfasis en el sombreado de las superficies (propia de recomendaciones para clima cálido húmedo) (Evans y Schiller, 1988; Olgyay, 1963), que frente al tamaño de áreas vidriadas (propias de recomendaciones para clima cálido seco) (Konya, 1980), (Figura 8-48).

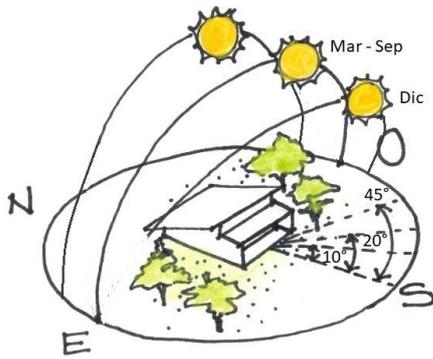


Figura 8-49: Rotaciones fachada

TRECE. Las orientaciones norte y sur, presentan un desempeño similar a rotaciones leves de hasta un 10°C, permitidas por la norma. Cuando el ángulo de exposición es mayor en 20°, los resultados son similares. Las diferencias hasta de 3°C + se presentan en fachadas expuestas a 45° y 90°C, hacia el oeste (Figura 8-49).

La recomendación anterior reafirma la línea de las recomendaciones de preferir orientaciones norte y sur en las fachadas expuestas (Evans y Schiller, 1988; Givoni, 1969; Konya, 1980; Olgay, 1963; Serra, 1999).

Las estrategias enfocadas a lograr una V_a son:

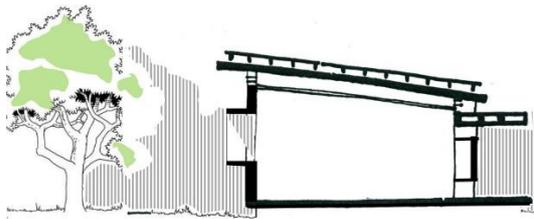


Figura 8-50: Sombreo exterior

CATORECE. Una de las recomendaciones para clima cálido es que, de permitir el ingreso de aire, éste debe ser tratado, reduciendo su calidad higro-térmica, por ejemplo, mediante sombreado exterior e inyección desde espacios sombreados Figura 8-50.

Sin embargo, las alternativas simuladas presentan un comportamiento similar entre ellas sin grandes diferencias. La alternativa que permanece por debajo de las demás, es la presencia del árbol como elemento de sombreado hacia el edificio, el cual logra 0.5° menos que el caso base.

QUINCE. Se deben proyectar salidas y entradas de aire que favorezcan la renovación del aire y el retiro de la carga térmica, las cuales deben permitir el cerramiento y apertura (de manera selectiva) según las condiciones térmicas y acústicas circundantes. Estas deben ser diseñadas en función de las corrientes de aire según período (climático, diurno, mensual o anual verificando dirección y frecuencia), así como permitir las o no, en función de la temperatura del aire exterior.

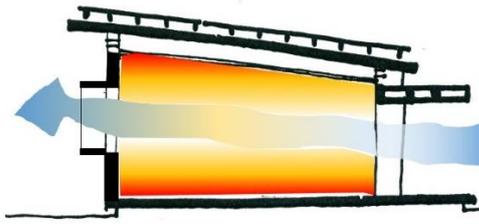


Figura 8-51: Ventilación natural 2



Figura 8-52: Ventilación por desplazamiento convectivo

DIECISEIS. La exclusividad de la ventilación cruzada natural, por sí sola, no es suficiente para lograr el confort al interior en la mayor parte del horario de uso de las aulas como se demostró a lo largo del estudio (Figura 8-51).

DIECISIETE. Por tanto, deben ser considerados elementos para la ventilación por desplazamiento convectivo, chimeneas solares y movimiento de aire con ventiladores, y otros sistemas híbridos como el suelo radiante y enfriamiento evaporativo, (específicamente cuando la HR es reducida, lo cual coincide con las T_a más elevadas en horario de uso de las aulas) y los cuales no deberían afectar las condiciones auditivas del ambiente (Figura 8-52).

Como se demostró, la mayoría de alternativas bioclimáticas logran mejorar desempeño térmico, sin embargo, con su implementación no siempre se alcanza el confort en los momentos más críticos del día, con temperaturas máximas en el Cuartil 3 (Figura 8-2) entre 30.5 y 31°C. Sin embargo, las alternativas con mejor desempeño que podrían aplicarse en ese caso serían las de cubierta metálica con cámara de aire, envolvente con masa térmica y rotación adecuada. Las demás alternativas pueden alcanzar el confort en los cuartiles 1 y 2.

Por último, en cuanto al análisis del desempeño de las estrategias en el marco del modelo de confort térmico analítico, los valores del PMV y PPD que arroja el software no permiten hacer un análisis confiable, ya que en todos los casos arrojó situación de desconfort por frío, resultado que no guarda coherencia con el contexto climático de la ciudad, ni con la opinión de los estudiantes, comprobada a partir de la AAPU del presente estudio. A partir de esto, es necesario hacer una revisión de los parámetros del software en edificios ventilados naturalmente.

Por lo específico de las estrategias para el confort térmico, todas las recomendaciones hacia el desempeño térmico de la Temperatura ambiente (T_a), la Temperatura media radiante (T_{mr}) y la V_a , para un mejoramiento de la T_o analizada, presentadas anteriormente, se pueden combinar con las estrategias que a continuación se indican desde los temas visual y auditivo.

8.3.1. Alternativas para el confort visual

Los valores resultantes de las estrategias de diseño en el $UDI_{300-3000}$ y en el FLD, evidencian el potencial lumínico existente en el tipo de cielo tropical, propia de la condición estudiada (Evans, 2007). Se logra el rango adecuado según norma, pero excesivo, como también la relación entre la cantidad de luz exterior e interior, en todas las variaciones. Sin embargo, la distribución espacial (sDA) es la métrica que evidencia deficiencias, derivadas de la resolución de la envolvente y el diseño del ambiente lumínico al interior, lo que indica áreas con los rangos adecuados (cerca de la ventana) y otras áreas por debajo de los mismos, la mitad del año.

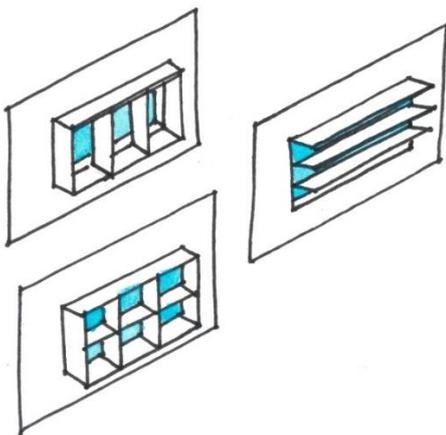


Figura 8-53: Elementos de protección horizontal en fachada

UNO. De todas las estrategias, las de mejor desempeño, son la presencia de **elementos horizontales de protección solar en fachada** con 10% mejor desempeño que los elementos verticales. Las protecciones horizontales deben evitar el acabado de **material en color blanco** debido a que incrementan el %DF de 2.9% a 3.3%. La presencia de estos elementos de protección solar, deben ser permanentes en todas las orientaciones de la fachada (Figura 8-53).

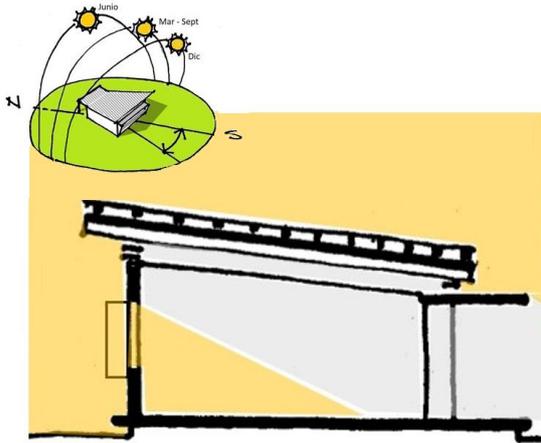


Figura 8-54: Rotación de fachada y ASE

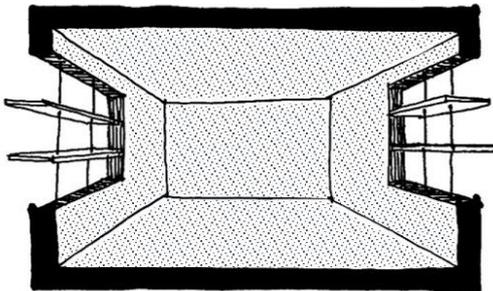


Figura 8-55: Ventanas en doble fachada

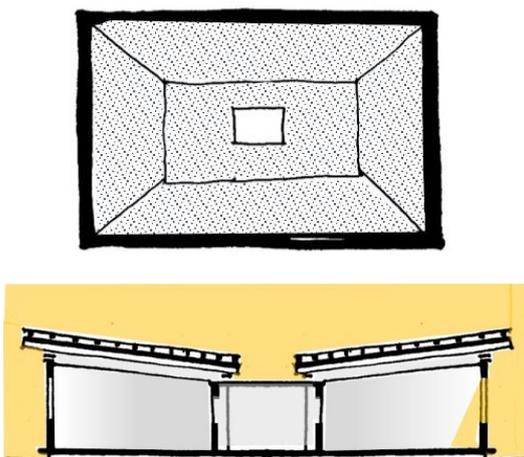


Figura 8-56: Tamaño de ventana $1/9$ t distancia entre edificios

DOS. Si bien, al aplicar diferentes alternativas de **orientación** de la fachada, el rango útil (UDI) no desmejora, otros parámetros como la distribución en el espacio (sDA) desmejora y aumenta el ingreso de sol directo, hasta de un 65%, cuando el permitido es 10° (Figura 8-54).

TRES. La recomendación realizada por la norma de contar con **aberturas en las dos fachadas**, es acertada (ICONTEC, 2000). Como se demostró a lo largo del estudio, aulas con grandes áreas, sin iluminación a los dos costados, apenas logran la distribución en el rango de iluminancia adecuado. Sin embargo, es recomendable proteger el ingreso directo de sol (Figura 8-55).

CUATRO. Alternativas positivas para el confort térmico, resultan con bajo desempeño visual; es así como: la relación $1/9$ de **área de abertura** y la **distancia entre edificaciones cubierta** (situación contexto), presentan desempeños deficientes, con 18% y 14% menos de UDI que el caso base respectivamente (por debajo del rango) (Figura 8-56).

8.3.2. Alternativas para el confort auditivo

De todas las estrategias analizadas, las que logran arribar a los valores de confort recomendados, son las que presentan algún tipo de acondicionamiento en alguna de las superficies del aula.

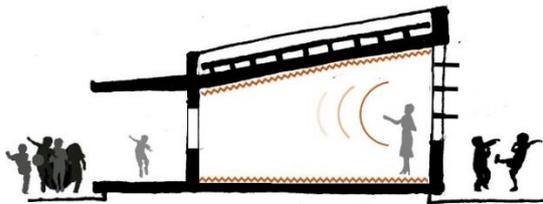


Figura 8-57: Acondicionamiento acústico en piso y techo

UNO. Los mejores desempeños, con los registros más bajos en el tiempo de reverberación (Tabla 8-10) y se logran en las alternativas que cuentan con material con propiedad absorbente en piso y/o en el cielorraso (Figura 8-57).

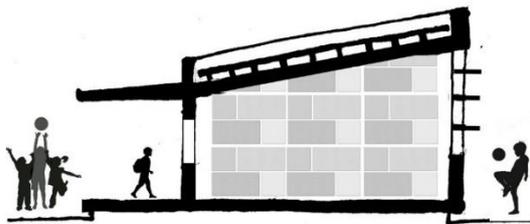


Figura 8-58: Acondicionamiento acústico en paredes

DOS. Siguen con buen desempeño acústico, las alternativas con material absorbente en la totalidad de las paredes y, no solo en la mitad superior del muro, como lo indica la norma NTC 4595 (Figura 8-58).

Las demás alternativas con materiales a la vista en:

- Muros: bloque de concreto
- Piso: Acabado liso o en baldosa lisa
- Cielorraso o cubierta: Acabado metálico (losa metálica en Steel deck) o panel yeso

Estos últimos resultaron los materiales más comunes encontrados en las aulas del presente estudio, y los que presentan comportamiento inadecuado en el tiempo de reverberación recomendado para aulas escolares.

8.4. El Proceso de Diseño de colegios: norma y estrategias de diseño

Para verificar cómo se incluye la aplicación de tecnología, entendida como conocimiento de los criterios normativos y de diseño bioclimático y de eficiencia ambiental, en el proceso de diseño de edificios escolares, se desarrolló un estudio a partir de la técnica de entrevista a diferentes referentes, proyectistas de oficinas de arquitectura encargados del diseño de colegios en Cali y encargados de la gestión Municipal de los colegios.

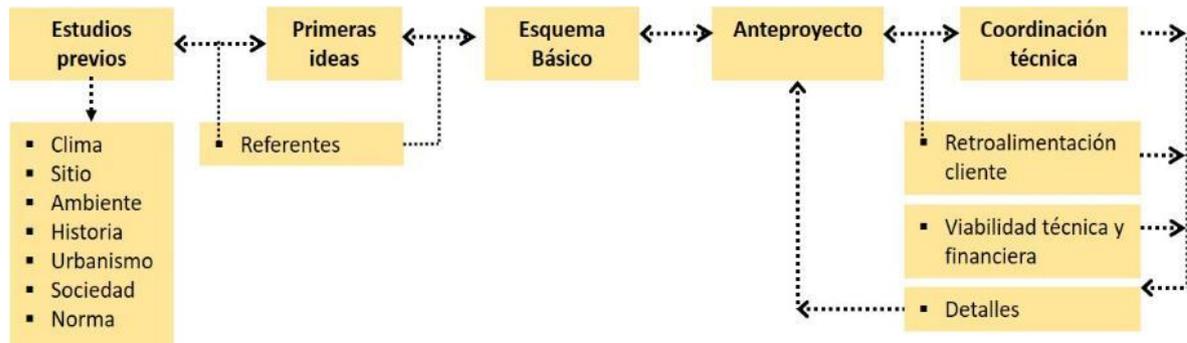
El proceso el diseño y ejecución de los colegios públicos, se resuelve a partir de la selección del arquitecto/estudio bien sea por méritos, concurso cerrado o abierto. De manera posterior, la propuesta seleccionada comienza la fase de desarrollo, durante la cual se consensua en varias oportunidades ante el equipo técnico de la Secretaría de Educación Municipal.

El proceso de diseño, implica la consideración de una variedad de aspectos arquitectónicos, y el cómo son considerados en el momento proyectual. La complejidad misma de todos los aspectos que intervienen en el proyecto, obliga al trabajo interdisciplinario, muchas veces a manera de colectivos de arquitectura, superando el abordaje tradicional del arquitecto diseñador, como el solitario protagonista (Trebilcock, 2009).

La mayoría de los arquitectos entrevistados en el marco de la investigación, sostuvieron que la temática “bioclimática” es considerada como parte del universo técnico de la arquitectura, junto con otros temas como los sistemas estructurales, hidro-sanitarios y eléctricos, los cuales no limitan la imaginación, o el proceso creativo de diseño. Estos sistemas, según expresan la mayoría de los entrevistados, aparecen desde las etapas de anteproyecto, las cuales suceden de manera posterior a las primeras ideas arquitectónicas y estructurales. Si bien, esto es correcto, muchas veces estas consideraciones al no evaluarse e incorporarse desde las primeras ideas, son difíciles de optimizar en la etapa de anteproyecto y en menor medida en las de proyecto.

En la Figura 8-59 se presenta la síntesis elaborada a partir de las etapas del proceso de diseño, expresadas por los arquitectos entrevistados. Se puede observar, cómo existe un especial

énfasis en las etapas de concepción y diseño previas a la definición del proyecto en el esquema básico, y cómo es en la etapa de anteproyecto en donde aparecen la coordinación técnica y los demás profesionales que intervienen en el proceso, en una concepción tradicional.



*Figura 8-59: Síntesis de la metodología de diseño expresada por las oficinas de arquitectura entrevistadas
Fuente: Elaboración propia*

La literatura especializada ofrece recomendaciones y herramientas (Evans y Schiller, 1988; Freixanet, 1999; Givoni, 1969; Gonzalo, 2003; Olgyay, 1963) para el uso desde etapas tempranas del proyecto, sin embargo, el uso de estas herramientas requiere un conocimiento experto en temas como el bioclimático, que hace difícil su aplicación para ser incluido de manera sistemática en las diferentes etapas del proyecto, para un diseñador sin este conocimiento.

En entrevista a los rectores de los colegios, éstos manifestaron que entre los principales problemas de las aulas, se encuentra el confort auditivo, el cual tiene incidencia negativa directa en la actividad dentro del aula. También manifestaron ausencias docentes debido a esta problemática. El segundo problema, es el visual en dos situaciones diferentes: por bajas condiciones de iluminación natural, lo que lleva a encender las luces desde horas tempranas y, por exceso, teniendo que recurrir a cortinas y otros elementos que mitiguen la alta luminosidad.

Algunas conclusiones arribadas del presente estudio son las siguientes:

Para la verificación del comportamiento del edificio en relación con las condiciones climáticas, los diseñadores recurren a variedad de recursos (45%), entre los que se encuentran el uso de

herramientas de cálculo, el segundo recurso es la asesoría de expertos (25%), y el manejo de softwares (15%), entre los que se encuentran: Design Builder, Open Studio, Energy Plus, FormIt, Graflsol, Ecotec, SketchUp, Lumix, ArchyCad, Revit + Plugins, entre los de mayor uso (Figura 8-60). De manera complementaria, mientras hay quienes incorporan los temas de bioclimática desde el inicio (25%) y en varios momentos del proceso (25%), hay quienes todavía los consideran en momentos específicos como el esquema básico (15%) y el anteproyecto (15%), según la opinión de los arquitectos presentada en la Figura 8-61.

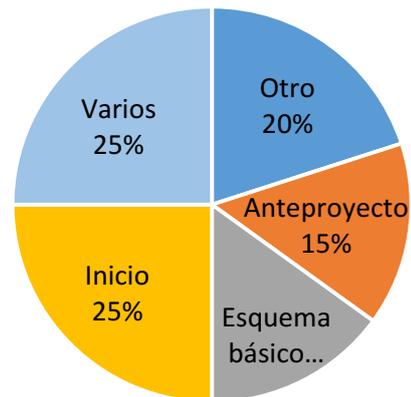
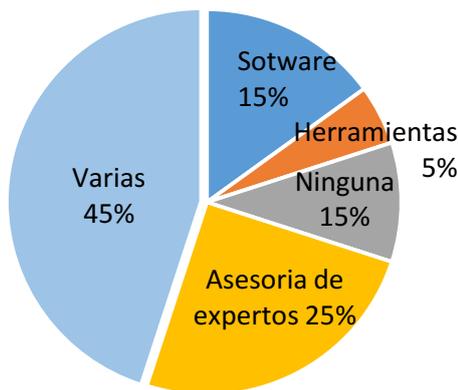


Figura 8-60: Para la consideración de aspectos climáticos cuenta con...

Figura 8-61: ¿En qué momento los incorpora?

Fuente: elaboración propia

Cuando se preguntó por el momento en que se incorporan las normas específicas (NTC 4595) en el proceso de diseño, en el caso de colegios, la mayoría de los arquitectos entrevistados opinaron desde el inicio (35%), seguido por la opinión de que el mejor momento para incorporarla es en la etapa del anteproyecto (25%), seguido del esquema básico (10%) (Figura 8-62).

Frente a la posibilidad de visitar los proyectos una vez son construidos y están habitados, el 65% manifestó haberlo realizado (Figura 8-63). Y frente al aprendizaje de las obras construidas, los arquitectos manifiestan como los principales temas: la concepción integral y la incorporación temprana de los aspectos técnicos y bioclimáticos; el conocimiento térmico de los materiales; el apoyo en temas de asoleamiento, y aguas; la necesidad de acompañamiento experto y la ausencia de conocimiento para el diseño en clima tropical.

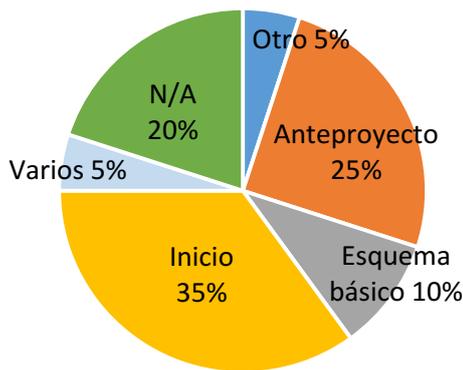


Figura 8-62: ¿En qué momento incorpora la norma NTC 4595: Planeamiento y Diseño de instalaciones y ambientes escolares?

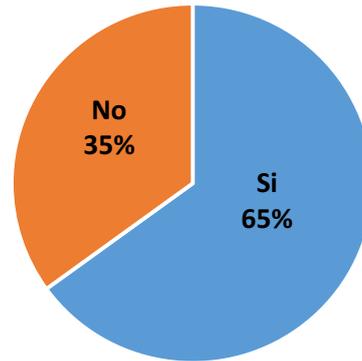


Figura 8-63: ¿Ha tenido la posibilidad de conocer cómo es la habitabilidad (en relación con los temas térmicos, lumínicos y sonoros) de los proyectos que ha diseñado?

Fuente: Elaboración propia

En la voz de los encargados de la gestión de los colegios, recogida a través de un grupo focal a expertos, los participantes manifestaron el abordaje de la normativa en los procesos de retroalimentación del diseño de los colegios, y en el caso específico de la NTC 4595, limitar su análisis a la parte inicial de la norma en donde se indican, áreas y dimensiones de los diferentes espacios de los colegios según el índice de ocupación. Llama la atención, el desconocimiento general por parte del grupo consultado de los Capítulos de la norma referidos a la comodidad térmica, visual y sonora, debido a la falta de apoyo especializado en los temas de bioclimática.

La verificación de estos temas, al igual que otras normas (en Colombia) de aparición reciente en Colombia, en el marco de la arquitectura sostenible ⁽³⁾, son de dudosa aplicación, debido a la ausencia de personal idóneo que acompañe el proceso y la construcción, y realice las verificaciones respectivas una vez construido el proyecto (Auditoria post-ocupacional). Finalmente, queda el interrogante sobre el vacío que existe en la implementación de los temas de confort en los colegios, debido a la falta de adecuación de la norma a la realidad local, la cual, sin la presencia de expertos que acompañen el proceso, se convierte en la guía exclusiva para los diseñadores, quienes definen las condiciones de habitabilidad y confort en los proyectos.

³ Se refiere específicamente a la implementación del Decreto 0549 del 10 de julio de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamiento de construcción sostenible, y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones.

CAPITULO 9

9. CONCLUSIONES

En coherencia con el planteamiento del problema de investigación, las conclusiones se estructuran desde el aporte al conocimiento de la normativa específica, al proceso de diseño y gestión; desde la teoría del confort y la integración de aspectos arquitectónicos y técnicos en el diseño de aulas escolares.

Se partió de la siguiente **Hipótesis** de trabajo: *“Las condiciones de confort presentes en las aulas de los colegios en situación tropical, presentan deficiencias en uno o varios aspectos del confort integral (higro-térmico, visual y auditivo), como consecuencia de un diseño arquitectónico con baja exploración en las estrategias bioclimáticas que mejoren la interacción entre ventilación natural-ruído e iluminación, propias de los climas cálidos”.*

Y el **Objetivo General**: *“Valorar el diseño arquitectónico, específicamente de las aulas en relación con el confort integral (higro-térmico, visual y auditivo) en las regiones tropicales, para generar estrategias de diseño bioclimático que promuevan condiciones de confort en edificaciones eficientes”.*

Bajo este planteamiento a continuación se sintetizan algunos aportes derivados del presente trabajo:

9.1. Conocimiento como aporte a la norma NTC 4595

Los aspectos a revisar en la norma son:

i. La clasificación climática, la cual refleja las características de las ciudades, específicamente, la de Cali. En la primera versión de la norma, se tiene en cuenta la variación térmica diaria, sin embargo, en esta clasificación no corresponden los rangos de temperatura con los de humedad. En la segunda versión, la temperatura y humedad relativa son consideradas como valores constantes, lo cual es confuso y no refleja la variación climática diaria que se presenta en Cali, como se demostró a lo largo del estudio. Se incluyen otras variables como la radiación y altitud, lo que le agrega confusión. La clasificación climática debe adoptarse a la realizada por el IDEAM, quien es la autoridad ambiental en Colombia y define para cada Departamento y ciudad, su clasificación de acuerdo a promedios históricos.

Se debe tener precaución con las clasificaciones climáticas generalizadas como las realizadas por la mayoría de autores bioclimáticos, debido a situaciones climáticas como las de Cali, en donde se pasa en un día de condiciones propias de clima cálido seco a clima cálido húmedo, con necesidades específicas y diferentes en cada una, para proporcionar espacios confortables.

ii. Los arquitectos diseñadores de colegios, adoptan las recomendaciones de la norma, las cuales como se ha demostrado en el estudio, no garantizan las condiciones óptimas de confort. Se recomienda que la norma se comprometa con un objetivo a alcanzar, con recomendaciones de tipo general y específico, que permita a los diseñadores y expertos en bioclimática, proponer alternativas innovadoras que alcancen condiciones aceptables.

iii. La adecuada dimensión en las áreas de ventanas, debe estar acompañada de las características térmicas, visuales y acústicas, del interior del espacio, con el fin de lograr el confort ambiental de manera integral. El énfasis puesto en la dimensión de las aberturas para

alcanzar el confort, especialmente en los temas térmico y visual, resta importancia a la relevancia y posibilidades del espacio al interior.

iv. Cada uno de los componentes del confort implica condiciones específicas al momento de diseñar, no obstante, es necesario que la norma abarque una visión integral y transversal entre componentes, para evitar la contradicción en algunas de las recomendaciones de diseño.

v. Los ángulos de exposición de la fachada, pueden ser mayores a los propuestos por la norma, sin recurrir a incrementos en la temperatura operativa, siempre y cuando se acompañen de la envolvente adecuada, y de los elementos de protección solar en fachada que eviten el ingreso de sol directo, los cuales además de aumentar la temperatura, generan brillos y contrastes molestos.

vi. Para una adecuada ventilación se deben explorar mayor variedad de estrategias, a la aplicación de los ángulos de la fachada en relación con la dirección predominante de los vientos. Conocer los fenómenos de presión de viento, sombras de viento y demás, puede contribuir a una mejor incorporación de este elemento al interior de las aulas. Asimismo, es importante explorar alternativas para la apertura y cerramiento de los elementos de la envolvente, cuando los vientos presentan una temperatura indeseada para el interior, o cuando el ruido exterior perturbe la actividad de la clase.

vii. Es necesario avanzar en la caracterización térmica, visual y acústica de la envolvente que permita una mayor exploración y combinación de materiales por parte de los diseñadores. Esto se logra a través del conocimiento experto en las propiedades de los materiales, a través de simulación numérica, o presentando un abanico amplio de materiales, con las especificaciones técnicas requeridas en cada uno de los componentes.

viii. Al final de cada componente, la norma permite demostrar a través de cálculos o simulaciones el efecto del diseño en el desempeño de los espacios, sin embargo, no resulta claro la comprobación de las condiciones de confort alcanzado a través del diseño propuesto,

ni la responsabilidad en la verificación de esos diseños por parte de la Secretaría de Educación Municipal, la oficina de Planeación Municipal, o en las Curadurías Urbanas.

ix. La norma debe hacer alusión directa a los temas de confort en lugar de comodidad, para alinearse claramente con los desarrollos teóricos y técnicos internacionales, pero adecuado a las condiciones ambientales y climáticas tropicales como las del presente estudio.

9.2. Conocimiento metodológico y técnico para la arquitectura escolar en condiciones tropicales

i. Para un adecuado análisis de las condiciones climáticas de base, y soporte del proceso de diseño, es necesario robustecer el sistema de información climática del país, especialmente en el caso de Cali, para que exista mayor cantidad de estaciones meteorológicas en diferentes localizaciones, coordinadas por el IDEAM. Así como también, registros completos e históricos de datos, no solo de temperatura, humedad relativa, lluvias e indicadores de calidad de aire, sino de radiación y vientos. Esta ausencia de información produce una deficiente caracterización climática en la ciudad, con lo cual se dificulta un abordaje proyectual y analítico que pretenda responder a las condiciones ambientales.

ii. En el confort térmico, por lo controversial del tema de su diagnóstico, se debe recurrir a índices orientados en los dos modelos: Analítico y Adaptativo. Los índices registrados a través de equipos y los votos de sensación térmica pueden servir a los dos modelos teóricos y también por otro lado, índices específicos para el modelo Analítico (temperatura neutral, PMV y PPD) y para el Adaptativo (temperatura aceptable y Porcentaje por encima y debajo del 80%/90% de aceptabilidad).

- Identificar las estrategias de diseño orientadas hacia el confort en cada tema
- Simular las estrategias de diseño
- Definir el diseño y características particulares de cada estrategia
- Simular el comportamiento alcanzado

iii. Dentro del proceso de diseño para lograr aulas confortables, metodológicamente se deben tener en cuenta aspectos procedimentales y técnicos como los siguientes:

- Conocimiento de la norma nacional e internacional.
- Procedimientos, variables e indicadores que intervienen en el análisis del confort (Tabla 9-1):

Tabla 9-1: Variables, índices e indicadores del confort

	Nombre	Formula	Símbolo	Unidad de medida
TERMICO	Temperatura ambiente	Registrada	Ta	°C
	Humedad relativa	Registrada	HR	%
	Velocidad del viento	Registrada	Va	m/s, km/h
	Temperatura Operativa	Formula	To	°C
	Temperatura Neutral	Formula	Tn	°C
	Temperatura Media Radiante	Formula	Tmr	°C
	Temperatura aceptable	Formula	Tacep	°C
	Porcentaje por encima y debajo del 80%/90% de aceptabilidad	Formula		%
	Votos de sensación térmica	Opinión	VST	Unidad
	Voto medio estimado	Formula	PMV	Unidad
	Porcentaje estimado de insatisfechos	Opinión	PPD	%
	VISUAL	UDI	Registrada	E
Coefficiente de Uniformidad			Uo	%
SDA		Calculada	sDA	%
Deslumbramiento		Calculada	Ugr	
Ingreso luz directa		Calculada	ASE	%
AUDITIVO	Ruido de fondo	Registrado	dB	Decibeles
	Tiempo de reverberación	Registrado	RT	segundos
	Inteligibilidad de la palabra	Formula	% ALCons	%

Fuente: elaboración propia

iv. Las estrategias para alcanzar el confort deben ser parte de un Proceso de Diseño Bioclimático, en el que los principios para el bienestar, estén incorporados desde el inicio. En el presente estudio, se propone como pueden ser incorporadas dentro de un proceso de Diseño Experto.

9.3. Conocimiento como aporte a los profesionales del sector educativo.

i. Es necesario avanzar en mayor cantidad de estudios específicos que requiere el diseñador de espacios educativos, que aporten en:

- La necesidad de contar con herramientas conceptuales y técnicas y en las implicancias del confort integral en el proceso de diseño.
- Profundizar la noción de confort integral en contexto tropical, integrando las mediciones objetivas de los principales parámetros ambientales y la opinión de los usuarios y/o habitantes.
- Intervenir de manera estructural, por parte del Estado, en su jurisdicción competente en los colegios públicos ubicados en zonas de alta marginalidad y violencia, lo que dificulta su acceso, y, por ende, limita el número de estudios realizados.

ii. La arquitectura de las aulas estudiadas correspondió a la tipología tradicional de enseñanza y aprendizaje, con espacios configurados para clases magistrales y disposiciones de los estudiantes en filas e hileras. Vale la pena explorar, si las normas actuales, permiten explorar otro tipo de configuraciones, flexibles e innovadoras, producto del trabajo transversal entre diferentes disciplinas, y si la educación pública apunta a eso en la práctica, con implicaciones en mayores áreas de corredores, espacios intermedios o de transición, los que no están contemplados en la norma (Banco Interamericano de Desarrollo-BID, 2019).

9.4. Estudios específicos para gestores de la arquitectura educativa en el trópico.

i. Es necesario realizar un plan de capacitación del personal técnico y de los encargados de la toma de decisiones en el diseño de los colegios, en temas actuales sobre calidad y funcionamiento a nivel internacional y nacional. Tanto en los avances normativos, como en los avances teóricos sobre el tema.

Como se ha mencionado en el presente estudio, existe abundante bibliografía relacionando el confort, con el aprendizaje del estudiante y sus condiciones de salud (Zapata et al., 2018). Una de las técnicas específicas para el estudio es la auditoría, evaluación y diagnóstico (audit-diagnóstico) del comportamiento del edificio una vez está habitado (post-ocupación), por medio de las Auditorías Ambientales de Percepción del Usuario, para retomar dicho aprendizaje en los siguientes proyectos, e ir consolidando un proceso proyectual de identificación de necesidades-diseño-construcción-retroalimentación- que vuelva a iniciar el ciclo, e ir conformado un cuerpo teórico y práctico que permitan trasladar las experiencias en otros proyectos.

ii. Los tiempos del proceso de diseño y gestión, se concentran en temas básicos de funcionamiento, como la existencia de todos los espacios requeridos para el colegio, cantidad de aulas, índices de ocupación y materiales, en relación con el mantenimiento y costo, sin embargo, no son abordados temas de confort en los espacios. Para lo cual se requiere:

- Capacitar a Profesionales en planificación, con el conocimiento técnico que permita abordar el confort en los espacios y evitar condiciones deficientes en las aulas para el correcto desarrollo de la actividad de enseñanza y aprendizaje, y con consecuencias sobre la salud estudiantil y docente.
- Abordar el confort en las aulas desde el inicio del proceso de diseño, previene una inadecuada respuesta formal y constructiva asociada a su funcionamiento (o rol técnico específico) en el aula, como también, incurrir en obras de adecuación posteriores, las que son difíciles de realizar por parte de los rectores encargados en función de los presupuestos asignados y tiempos de ejecución.

9.5. Pautas para el diseño de aulas confortables en el trópico

Las recomendaciones desarrolladas anteriormente para cada uno de los temas, se pueden combinar de acuerdo a la situación requerida, pues no pretenden actuar como fórmula o “receta”, sino como principios generales de diseño para el clima tropical, sin embargo, a continuación, se resaltan los aspectos más relevantes en cada uno de los temas para ser integrados.

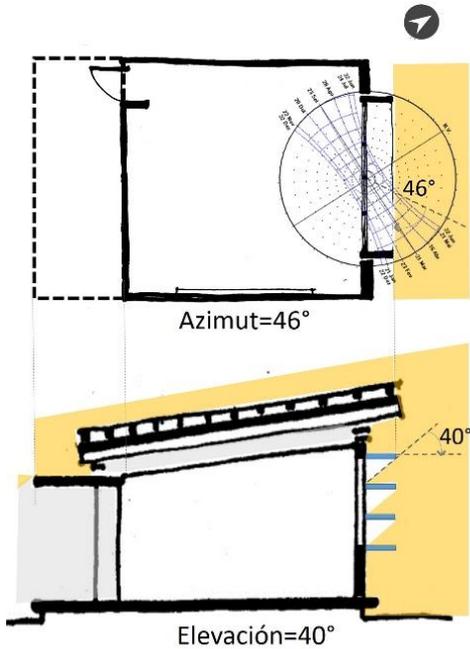


Figura 9-1: Ángulos solares para el diseño de elementos de protección

- i. Las estrategias con mejor desempeño en los tres temas fueron las que presentaron **elementos de protección horizontal** con orientación de fachada expuesta hacia el norte o sur, los cuales deben tener la distribución en la fachada acorde con los ángulos solares de elevación o altura y azimut más críticos dependiendo del mes y la hora, además de actuar recomendablemente como estantes solares que permitan una reflexión de la luz indirecta (Figura 9-1).

Esta estrategia permite bajar la T_o con respecto al caso “base” (a diferencia de las protecciones verticales), como también genera un ambiente visualmente confortable (a diferencia de la alternativa de calados), especialmente con el ingreso de luz solar directa.

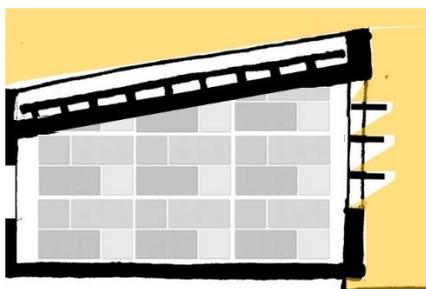


Figura 9-2: Elementos horizontales y materiales al interior

- ii. Además, los elementos de protección horizontal pueden presentar color opaco. Pero en caso de presentar colores claros con **altos porcentajes de reflectancia**, mejora su desempeño visual, debiéndose tener precaución con el aumento de FLD Figura 9-2.

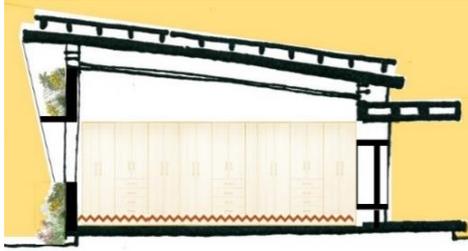


Figura 9-3: Resistencia térmica y acabados interiores

- iii. El aumento de la resistencia térmica (R) de la envolvente, a través de materiales masivos con **acabado de color claro** al interior y, acondicionamiento acústico de alguna de las superficies (mínimo) (Figura 9-3).

Lo anterior al igual que el mobiliario, favorecen el desempeño térmico y un buen ambiente visual, ya que como se demostró en el estudio, colores opacos no favorecen un ambiente lumínico adecuado. Es así como con la presencia de colores claros en paredes y piso, preferiblemente, se logra un mejor desempeño lumínico.

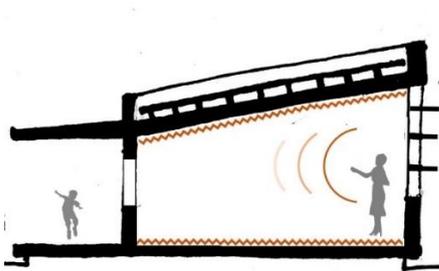


Figura 9-4: Acondicionamiento acústico interior

- iv. Las superficies al interior deben tener **materiales con propiedades absorbentes del sonido**, de lo contrario deben presentar revestimientos con dicha propiedad como mínimo en dos paredes, o en el piso o techo, para el acondicionamiento acústico; ya que como se demostró a lo largo del estudio que los acabados lisos de los materiales, no favorecen la condición acústica del espacio (Figura 9-4).

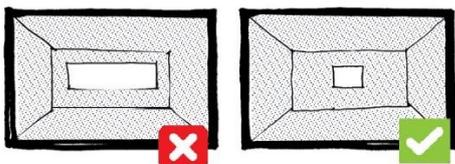


Figura 9-5: Área de ventana y tiempo de reverberación

- v. Desde el componente auditivo, presentaron levemente mejor desempeño las alternativas con **menor área de ventana**, que aquellas con mayor superficie vidriada (Figura 9-5).

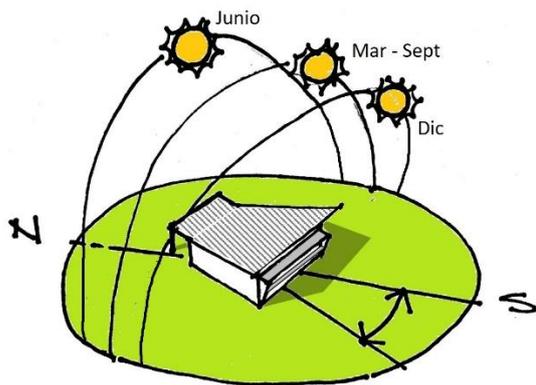


Figura 9-6: Orientación

- vi. En el caso de las **orientaciones**, se deben favorecer la de la fachada principal hacia el norte y sur, sin embargo, en caso de presentar orientaciones diferentes (hasta 30°), las que se podrían siempre y cuando no sean perpendicular al este y oeste (Figura 9-6).

Si bien, en el marco del Proceso de Diseño Bioclimático, es ideal incorporar las pautas de diseño desde el inicio de la etapa de concepción del proyecto, para que el desarrollo sea integral y coherente, la mayoría las recomendaciones anteriores se pueden aplicar a espacios educativos existentes, con el fin de mejorar las condiciones de confort.

Las estrategias desarrolladas hacen parte del universo de la arquitectura bioclimática pasiva. Otras estrategias que requieran desde el confort térmico, manejos más específicos, como las chimeneas solares, extractores solares o eólicos, como también enfriamiento evaporativo o sistemas mixtos, implican un abordaje integral con arquitectura e ingeniería, ya que sobrepasa el saber específico arquitectónico.

9.6. Validación de metodologías, técnicas y herramientas actualizadas de simulación y generación de índices e indicadores

En el presente estudio que generó una metodología no aplicada anteriormente en el presente contexto regional, alrededor del confort en aulas escolares, que integra:

- La teoría y conceptualización en el marco de la discusión teórica actual sobre confort.
- Una propuesta metodológica como la AAPU, adaptada al clima y condiciones locales.

- La validación de recomendaciones de diseño para alcanzar el confort en el marco de la normativa local.
- La generación de recomendaciones de diseño en el marco de la metodología de diseño bioclimático, para clima tropical.

El Sistema de procesamiento de auditoria (SISPA), como herramienta de procesamiento de la información y la Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario (AAPU), como metodológica de intervención (cualitativa-cuantitativa), demostró ser un método válido para evaluar el confort en contextos tropicales, con la incorporación de aspectos puntuales, incluidos en el presente estudio, tales como:

- Modelos de confort térmico, métodos y fórmulas para el cálculo de los parámetros estructurales y críticos.
- Mayor exploración, tiempo de medición y exigencia técnica de los equipos para medir la ventilación natural, por lo impredecible de su comportamiento.
- Tiempo de reverberación en la medición auditiva, la cual requiere de métodos y equipos específicos, pero que permiten realizar comparaciones posteriores con las simulaciones numéricas.

En función de lo realizado se plantea la línea de profundización futura a partir de la AAPU:

- Robustecer las mediciones de confort visual con registro de iluminancias a la altura de los ojos de los estudiantes, en las áreas cercanas a las paredes y demás superficies, con el fin de poder identificar contrastes y brillos indeseados.
- Estudiar la calidad de aire en términos de contaminación como el contenido de CO₂, para espacios con aberturas practicables.
- En el tema auditivo, estudiar el efecto de la inteligibilidad de la palabra.
- Obtener mayor caracterización de las condiciones lumínicas del ambiente como la presencia de brillos y deslumbramiento.

En cuanto a las herramientas de simulación, empleadas en la presente investigación como:

- DIVA+ RHINOCEROS (Confort visual) y EASE (confort auditivo), son de fácil y amigable manejo, los cuales pueden acompañar de forma sencilla, el proceso de diseño, en todas sus fases.
- EnergyPlus (confort térmico). es un software de manejo complejo que requiere un conocimiento técnico y teórico, que puede resultar difícil de utilizar en todas las fases de diseño, especialmente en las primeras etapas, ya que la configuración espacial y arquitectónica requiere de la programación de las especificaciones técnicas.
- Los programas de simulación han avanzado a software con procesos cada vez más sencillos, sin embargo plugins y software como el Grasshoper (RHINOCEROS) o el sefaira (SketchUp), también requieren de conocimientos técnicos previos, ajenos a los temas netamente arquitectónicos.

9.7. Condiciones de confort integral / buenas prácticas

La localización geográfica diferenciada, así sea en una misma ciudad, implica distintas condiciones térmicas, visuales y acústicas a considerar, las cuales dependen de la situación en ladera, piedemonte o zona plana; así como del contexto inmediato, área comercial, residencial cerca de vía de alto tráfico, etc.

El diseño de aulas en el trópico requiere de mayor aplicación de estrategias de diseño, como se ha demostrado a lo largo del estudio, que implican no solo ventilación cruzada, protecciones, sombreado y orientación; sino que requiere además el apoyo de técnicos expertos en el tema para una mayor exploración de fenómenos de ventilación forzada, y otros de carácter semi-pasivos para proveer confort. Estas estrategias deben ser involucradas desde el inicio del proceso de diseño, para proporcionar edificios estéticamente adecuados a las condiciones del contexto.

Es indispensable contar con un diseño adecuado de los espacios para la educación, los cuales continúan presentando deficiencias en su calidad, confort, con repercusiones demostradas en el proceso de aprendizaje, en la atención estudiantil y en la salud de los docentes.

El abordaje en el diseño de las aulas debe ser a través de manera integral, en el que desde las etapas tempranas del diseño, participen todos los actores involucrados (rectores, maestros, encargados del mantenimiento, arquitectos diseñadores y gestores), y en el que intervengan todos los temas de confort, en una visión integral del proceso.

9.8. Líneas futuras de desarrollo

La presente tesis, ha indagado sobre la valoración del diseño arquitectónico, específicamente del aula, en relación con el confort integral (higro-térmico, visual y auditivo) en los colegios del trópico, tomando como casos los construidos en Cali bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 4595: *Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*. Se ha desarrollado una metódica analítica y se han arribado a conclusiones con las cuales aportar a la normativa y al acervo de los proyectistas, tanto en la aplicación de técnicas específicas, como a la evaluación de pautas arquitectónicas.

Existe un universo de temas relacionados, pero que sobrepasan el objeto del presente trabajo, los cuales pueden ser abordados en otras instancias del desarrollo, tales como:

- Profundizar el estudio de la incidencia del confort en la relación enseñanza-aprendizaje de los niños, lo cual obliga a un abordaje de tipo interdisciplinario, en donde participen profesionales de psicología y educación. Al respecto, en forma paralela a la presente investigación, se ha desarrollado un proyecto de investigación en el marco de la convocatoria de Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación- COLCIENCIAS (Zapata, Viegas, San Juan, Ramos, Coronado, Ochoa, Rendón, Arango, et al., 2018).
- Profundizar en el estudio de las condiciones de confort, desde diferentes características culturales y sociales, derivado de un trabajo de tipo antropológico o sociológico, centrado en la población que hace parte del estudio, sus orígenes y las condiciones de vida.

- Abordar estudios del confort térmico en colegios en otras regiones tropicales y subtropicales realizados antes de la norma, para validar y proponer la adaptación de las estrategias recomendadas en el presente estudio.
- Desarrollar un modelo experimental de colegio, a cargo de un equipo interdisciplinario integrado por educadores, ingenieros y arquitectos, que retome las recomendaciones de diseño desarrolladas en la investigación presentada y permita validar el comportamiento de las mismas en un contexto más amplio.
- Abordar mayor profundización y exploración de las alternativas de diseño en el trópico, orientadas al confort, con mayor nivel de complejidad en su simulación. En relación con esto, la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Buenaventura, ha participado en la competencia Solar Decathlon en las versiones del 2015 y 2019, lo cual puede ser una línea de profundización en la temática, orientada al espacio escolar.
- Profundizar la integración de principios de diseño bioclimático en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el pregrado de la Carrera de Arquitectura. Tema que se está abordando a partir de la materia de mitad de Carrera Proyectos V, y en los cursos de Final de Carrera, Proyectos IX y X.
- Profundizar en la instalación de un laboratorio de modelado en Diseño Bioclimático en la Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño. Este tema ya se ha comenzado a realizar, aunque se requiere de mayor incorporación de tecnología.
- Articulación mediante procesos de transferencia de conocimiento, capacitación y acompañamiento, a los encargados del diseño, así como de profesionales encargados del diseño de la arquitectura escolar y de los propios gestores y responsables institucionales.
- Colaborar con la revisión de la norma colombiana para el diseño de colegios en dos aspectos fundamentales:

- i) La evaluación pre-ocupación, o en la instancia de proyecto a partir de la validación vía modelización estacionaria y dinámica de las estrategias a aplicar.
- ii) La ampliación del catálogo de materiales con información suficiente.
- iii) En aspectos didácticos y de fácil implementación para los estudios que no cuentan con técnicos expertos, o que bien permitan colaborar en las primeras instancias del proyecto, lo que redunde en la adopción y aplicación de la normativa vigente.

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

- Banco Mundial. (2019). *Informe anual. Poner fin a la pobreza, invertir para generar oportunidades*. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/about/annual-report>
- Blatchford, P., Kutnick, P., Baines, E., & Galton, M. (1995). Toward a social pedagogy of classroom group work. *International journal of educational research*, 39(1–2), 153–172.
- Busch, J. F. (1995). Thermal comfort in Thai air-conditioned and naturally ventilated offices. En *Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21st century* (1 ed., p. 247). Abingdon. Taylor Francis.
- Cooper, I. (1982). Comfort theory and practice: barriers to the conservation of energy by building occupants. *Applied Energy*, 11(4), 243–288.
- Woods, J. E., Penney, B. A., Freitag, P. K., Marx, G., Hemler, B., & Sensharma, N. P. (2002). Health, Energy and Productivity in Schools: Overview of the research program. *Indoor Air*, 2002, 56-61.
- de Dear, R. J., & Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104, 1–18.
- de Schiller, S., & Evans, J. M. (1998). Energy and environment in an architectural design application. *Renewable Energy*, 15(1–4), 445–450. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00202-X](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00202-X)
- Díaz, L. A., Vásquez, N. G., Cano, L., y Cuervo, A. A. (2013). Revisión de las recomendaciones de la NTC 4595 con relación a las aberturas de los salones de clase. *DEARQ: Revista de Arquitectura de La Universidad de Los Andes*, (13), 214–229.
- Discoli, C. A., & San Juan, G. A. (2010). Tertiary network modeling in its building, energetic and productive dimensions: determination and comparison of behaviour characteristic profiles of health and education sectors. *International journal of energy, environment, and economics*, 17(4), 1–10.
- Evans, J. M. (2007). *The comfort triangles: a new tool for bioclimatic design* [Doctoral dissertation, Delft University of Technology (DUT)]. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5a12f90e-2e07-4ba7-b21f-1da81c5c523a>
- Evans, J. M., y Schiller, S. De. (1994). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Buenos Aires, EUDEBA, Ediciones Previas.
- Bruni Celli, Josefina F et al. 2008. *Una Mejor Educación Para Una Mejor Sociedad. Propuestas Para El Diálogo y La Transformación Educativa En América Latina y El Caribe*. Madrid.
- Fernández, R. (2014). Maestros de la Arquitectura Argentina: Amancio Williams. *ARQ-Clarín*, p. 120. Buenos Aires; Arte Gráfico Editorial Argentino.

- Filippín, C. (2005). Thermal response of solar and conventional school buildings to design- And human-driven factors. *Renewable Energy*, 30(3), 353–376. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.05.012>
- Freixanet, V. A. (1999). *Arquitectura bioclimática. Notas del curso*. México.
- Givoni, B. (1969). *Man, climate and architecture*. Elsevier.
- Golany, G. S. (1996). Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment*, 30(3), 455–465.
- Gómez-Azpeitia, G., Morales, G. B., y Torres, R. P. R. (2013). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados/Thermal comfort: two confronted theoretical focuses. *Palapa*, 2(1), 45–57.
- Gonzalo, G. E. (2003). *Manual de arquitectura bioclimática*. Nobuko.
- Gonzalo, G. E., Ledesma, S. L., Nota, V. M., y Márquez, G. (2001). Evaluación comparativa del comportamiento lumínico y térmico de diferentes soluciones de aventanamientos para escuelas y oficinas de la provincia de Tucumán. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 5, 13–18.
- Illuminating Engineering Society. IES LM-83-12. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Pub. L. No. 1, 13 (2012). IES-Illuminating Engineering Society. Recuperado de https://webstore.ansi.org/preview-pages/IESNA/preview_IES+LM-83-12.pdf
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC). (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595, Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*.
- Iglesias, V., Herrera, C. A., y Rosillo, M. E. (2016). *Confort ambiental en escuelas públicas de Cali*. Universidad del Valle.
- Koenigsberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew, A., y Szokolay, S. V. (1977). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Paraninfo.
- Koenigsberger, O., Mahoney, C., y Evans, M. (1973). *El clima y el diseño de casas*. Naciones Unidas.
- Konya, A. (1980). *Design primer for hot climates* (1st ed.). The Architectural Press Ltda.
- Krü, E. L., & Zannin, P. H. T. (2004). Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. *Building and Environment*, 39(9), 1055-1063. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.030>
- Krüger, E. L., & Zannin, P. H. T. (2004). Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. *Building and Environment*, 39(9), 1055–1063.
- Kwok, A. G. (1997). *Thermal comfort in naturally-ventilated and air-conditioned classrooms in the tropics*. [Doctoral dissertation, University of California]. <https://escholarship.org/uc/item/65d3k1jt>
- Ledesma, S. L., Nota, V., Gonzalo, G., Cisterna, M. S., Martínez, C., Quiñones, G., y Roldán, S. (2003). Estudios ambientales en aulas de escuelas públicas en San Miguel de Tucumán S.L. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 7, 19–24.
- Mardaljevic, J., & Nabil, A. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting research and technology*, 37(1), 41–59. <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>
- Mazzocco, M. P., Filippin, C., y Flores Larsen, S. (2017). Impacto potencial del cambio climático en una escuela solar en Argentina. *Energías renovables y medio ambiente*, 39, 49–60.
- Melchiori, M., San Juan, G. A., y Discoli, C. A. (2008). Comportamiento energético y ambiental de establecimientos educativos de la red pública de Campinas (Brasil) y La Plata (Argentina). Comparación al aplicar medidas de optimización edilicia. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 12, 65–72.
- Monteoliva, J. M., Ison, M. S., y Pattini, A. E. (2014). Evaluación del desempeño atencional en niños: eficacia, eficiencia y rendimiento. *Interdisciplinaria*, 31(2), 213–225.
- Monteoliva, J. M., y Pattini, A. (2013). Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleados. *Ambiente construido*, 13(4), 235–248. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000400016>
- Montoya, O. L. (2009). *Ciudad de mis sueños. Vida en la periferia de Córdoba*. Editorial Bonaventuriana y Universidad Nacional de Córdoba.
- Montoya, O. L. (2019). Cumplimiento de la norma sobre comodidad ambiental en aulas de colegios públicos en Cali. *XV ENCAC, Encontro Nacional de Conforto No Ambiente Construido*, 1-9.

- Moreno, F., Orozco, M., y Zumaya, M. del R. (2015). Los niveles de ruido en una biblioteca universitaria, bases para su análisis y discusión. *Investigación Bibliotecológica*, 29(66), 197–224.
- 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.
- Olgay, V. (1963). *Clima y Arquitectura en Colombia* (1st ed.). Gustavo Gili S.A.
- Orme, M., & Palmer, J. (2003). Control of overheating in future housing—Design guidance for low energy strategies. *FaberMaunsell Ltd.*
- Pretlove, S. E. C., & Oreszczyn, T. (1998). Climate change: impact on the environmental design of buildings. *Building Services Engineering Research and technology*, 19(1), 55–58.
- Purkey, S. C., & Smith, M. S. (1983). Effective schools: A review. *The elementary school journal*, 83(4), 427–452.
- Ramírez, F. (2009). Arquitectura y pedagogía en el desarrollo de la arquitectura moderna. *Revista Educación y Pedagogía*, 21(54), 31–65.
- San Juan, G. A. (2001). Niveles de integración en el estudio de redes edilicias de educación. Un aporte metodológico. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 5, 81–86.
- San Juan, G. A. (2007). Edificios escolares y responsabilidad. V Encuentro de Educadores de ciencia y tecnología “Educación ambiental para la construcción de una agenda regional escolar,” 126–142. Buenos Aires.
- San Juan, G. A., Discoli, C., y Alvarez, L. (2007). Curso de actualización profesional “Diseño bioclimático para el espacio físico educativo.” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 11, 23–30.
- San Juan, G., Hoses, S., y Martini, I. (2014). Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI: Nota 5: Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares. Recuperado de <https://publications.iadb.org/handle/11319/7113?locale-attribute=es&locale-attribute=en&locale-attribute=pt&locale-attribute=es&locale-attribute=pt>
- San Juan, G., Hoses, S., Rojas, D., y Moreno, J. (1999). Integración de la opinión de los usuarios en la evaluación ambiental de aulas escolares. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 329–5184.
- San Juan, G. A. (2013). *Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Serra, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Gustavo Gili.
- Svensson, M. K., & Eliasson, I. (2002). Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 61(1), 37–54.
- Tablada, A., De la Peña, A. M., & De Troyer, F. (2005). *Thermal comfort of naturally ventilated buildings in warm-humid climates: field survey*. 22 Conference on Passive and Low Energy Architecture (pp. 1–6). Beirut, Lebanon.
- Torrecilla, M., Javier, F., Martínez Garrido, C. A., y Hernández Castilla, R. (2011). Decálogo para una enseñanza eficaz. *Revista Electrónica Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio En Educación*. 9(1), 6–27.
- Trebilcock, M., Bobadilla, AM.; Piderit, B., Guzmán, F., Figueroa, R., Muñoz, C., Sanchez, R., & Hernández, J. (2012). Environmental performance of schools in areas of cultural sensitivity. *28th Conference, opportunities, limits & needs towards an environmentally Responsible Architecture*, 7–12.
- González Sánchez, Y., y Fernández Díaz, Y. (2014). Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 52(3), 402–410. Recuperado de <http://scielo.sld.cu>
- Yeang, K. (2000). *Proyectar con la naturaleza* (1st ed.); Gustavo Gili.
- Zacharias, J., Stathopoulos, T., & Wu, H. (2001). Microclimate and downtown open space activity. *Environment and Behavior*, 33(2), 296–315.
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J., y Montoya, O. L. (2018). *Comodidad ambiental en aulas escolares. Incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo*

de los estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali (1st ed.). Editorial Bonaventuriana; Ediciones Unisalle; Universidad Nacional de la Plata.

Zavala Bonilla, M. de los Á. (2016). Infraestructura escolar y su impacto en el rendimiento académico (Revisión Documental). In *Asies* (Vol. 2).

CAPITULO 2: LA ARQUITECTURA ESCOLAR

Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR). (2015). *Forzados a huir. Tendencias globales desplazamientos forzado en 2015*. ACNUR

Avilés, Á. (2009). La escuela nueva y los espacios para educar. *Revista Educación y Pedagogía*, 21, 103-126.

Department for Education. (1994). *Passive Solar Schools. A Design Guide*. H.M. Stationery Office. Londres: HMSO.

González-Velosa, C., Rucci, G., Sarzosa, M., & Urzúa, S. (2015). Returns to higher education in Chile and Colombia. In *IDB Working Paper Series* (Vol. 587). Recuperado de <http://www.iadb.org>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC). (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595, Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*. (571).

Maldonado, R. (1999). *Historia de la arquitectura escolar en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

Ministerio de Educación Nacional. República de Colombia. (2005). *Colegio 10. Lineamientos y recomendaciones para el diseño arquitectónico del colegio de jornada única*. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-355996_archivo_pdf_colegio_10.pdf

Molina, R. H. (2018). La escuela "Los comuneros", escuela de nadie. Hoy Alcaldía Menor de la Localidad Cuarta de San Cristóbal. *Eda. Esempli Di Architettura*, 1–30. Recuperado de [http://www.esempidiarchitettura.it/sito/journal_pdf/PDF 2018/70. EDA_HERNANDEZ_11_2018 .pdf](http://www.esempidiarchitettura.it/sito/journal_pdf/PDF%2018/70.EDA_HERNANDEZ_11_2018.pdf)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2016). *Revisión de políticas nacionales de educación. La educación en Colombia*. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-356787_recurso_1.pdf

Ramirez, F. (2009). Arquitectura y pedagogía en el desarrollo de la arquitectura moderna. *Revista Educación y Pedagogía*, 21(54), 31–65.

Robson, E. R. (1874). *School Architecture* (2nd ed.). London: John Murray.

Secretaría de Educación Municipal Alcaldía de Santiago de Cali. (2018). *Diagnóstico estratégico del sector educativo. anuario educativo del municipio de Santiago de Cali*. Recuperado de <https://www.cali.gov.co/documentos/1116/educacion--cifras-del-sector-educativo/>

Téllez, G. (2018). *Camacho y Guerrero arquitectos*. (Instituto Distrital de Patrimonio Cultural, Ed.) (1st ed.). Bogotá.

Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2013). *Informe Anual*. Recuperado de [https://www.unicef.org/colombia/media/276/file/Unicef Annual Report.pdf](https://www.unicef.org/colombia/media/276/file/Unicef%20Annual%20Report.pdf)

Wu, W., & Ng, E. (2003). A review of the development of daylighting in schools. *Lighting Research and Technology*, 35(2), 111–125. <https://doi.org/10.1191/1477153503li072oa>

CAPITULO 3: LA NOCIÓN DE CONFORT EN CLIMAS CÁLIDOS

Achazabal, L. P., Lorenzo, U. G., Jorge, A. P., Rodríguez, C. R. C., Ruiz, L., Mesa, M. A. M., y Morfa, C. R. (2003). Escuelas nacionales de arte de Cubanacán. Diagnóstico y proyecto de restauración de artes plásticas. *Informes de La Construcción*, 55(485), 45–51.

Acoustical Society of America (2010). Design requirements, and guidelines for schools, Part 1: permanent Schools. Acoustical Society of America, 2010. ANSI/ASA S12.60-2010 §

Al-Rashidi, K., Loveday, D., & Al-Mutawa, N. (2009). *Investigating the applicability of different thermal*

- comfort models in Kuwait classrooms operated in hybrid air-conditioning mode. *Sustainability in energy and buildings* (pp. 347-355). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03454-1_36.
- Apfel, R. E., & Raichel, D. R. (1998). *Deaf Architects & Blind Acousticians?—A guide to the principles of sound design*. ASA.
- Arauzo Franco, M. (2010). *Adecuación de los triángulos de confort, para las condiciones climatológicas dominantes en la República Mexicana* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco].
- ANSI/ASHRAE. (2013). *Standard 55-2013 user's manual: thermal environmental conditions for human occupancy*. Pub. No. (ASHRAE 55-2013)
- ASHRAE. (2005). Thermal Comfort. In *ASHRAE Handbook—Fundamentals* (p. 29).
- Baruah, P., Kumar Singh, M., & Mahapatra, S. (2014). Thermal comfort in naturally ventilated classrooms. *PLEA 2014 - 30th International Plea Conference*, (December), 1–8.
- Bernardi, N., & 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. <https://doi.org/10.1177/0013916505275307>
- Bodart, M., & De Herde, A. (2002). Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. *Energy and Buildings*, 34(5), 421–429. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00117-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00117-7)
- Brown, S., & Hult, E. (1967). New York's first windowless air-aconditioned school. *ASHRAE Journal*, 1, 47–51.
- Casabianca, G. A., y Evans, J. M. (2003). Estantes de luz: verificación de iluminación natural, asoleamiento y protección solar en maquetas de ensayo. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 7(1), 25–30.
- Cengel, Y., y Boles, M. A. (2009). *Termodinámica, 6ª Edición*. Mc Graw -Hill
- Chambers, J. A. (1963). *A study of attitudes and feelings toward windowless classrooms* (Doctoral dissertation, University of Tennessee).
- CHPS, E. (2003). Collaborative for high performance schools. *A national movement to improve student performance and the entire educational experience by building the best possible schools: www.chps.net*
- Heschong, L. (2003). *Windows and Classrooms: A Study of Student Performance and the Indoor Environment*. California Energy Commission. California. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26759.44964>
- de Dear, R. J., & Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104, 1–18.
- de Dear, R. J., & Fountain, M. E. (1994). Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. *ASHRAE Transactions*, 100, Pt.2.
- Díaz, L. A., Vásquez, N. G., Cano, L., y Cuervo, A. A. (2013). Revisión de las recomendaciones de la NTC 4595 con relación a las aberturas de los salones de clase. *DEARQ: Revista de Arquitectura de La Universidad de Los Andes*, (13), 214–229.
- Dockrell, J. E., & 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.
- Doelle, L. L. (1972). *Environmental acoustics*. McGraw-Hill, New York
- Donnini, G., Molina, J., Martello, C., Lai, D. H. C., Kit, L. H., Chang, C. Y., & Haghighat, F. (1997). Field study of occupant comfort and office thermal environments in a cold climate. *ASHRAE Transactions*, 103(Pt.2).
- Dunn, R., Krinsky, J. S., Murray, J. B., & Quinn, P. J. (1985). Light up their lives: A review of research on the effects of lighting on children's achievement and behavior. *The reading teacher*, 38(9), 863–869.
- Elghazi, &, Wagdy, A., Mohamed, S., & et all. (2014). Daylighting driven design : Optimizing kaleidocycle facade for hot arid climate. *International Conference & Exhibition Building Simulation-IBPSA* (pp. 314–321). Austria.
- Ellis, F. P., & Navy, R. (1952). Thermal comfort in warm, humid atmospheres Observations in a warship in the tropics. *Epidemiology & Infection*, 50(3), 415–432.
- Eyring, C. F. (1930). Reverberation time in "dead" rooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*,

- 1(2A), 217–241.
- Fanger, P. O., & Toftum, J. (2002). Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, 34(6), 533–536. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00003-8)
- Faustman, E. M., Silbernagel, S. M., Fenske, R. A., Burbacher, T. M., & Ponce, R. A. (2000). Mechanisms Underlying Children's Susceptibility to Environmental Toxicants. *Environ Health*, 108 (suppl 1), 13–21.
- Filippín, C. (2005). Thermal response of solar and conventional school buildings to design-and human-driven factors. *Renewable Energy*, 30(3), 353–376. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.05.012>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.
- Gómez-Azpeitia, G., Morales, G. B., y Torres, R. P. R. (2013). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa*, 2(1), 45–57.
- Gonzalez Rodriguez, L. del C. (2009). *Simulación de las características acústicas del espacio arquitectónico en modelos físicos a escala*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, México].
- Gonzalo, G. E., Ledesma, S. L., Nota, V. M., y Marquez, G. (2001). Evaluación comparativa del comportamiento lumínico y termico de diferentes soluciones de aventanamientos para escuelas y oficinas de la provincia de Tucumán. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 5, 13–18.
- Graves, B. E., & Pearson, C. A. (1993). *School ways: The planning and design of America's schools*. McGraw-Hill.
- Haigh, D. (1981). *User response to environmental control. The Architecture of Energy*, 45-63.
- Illuminating Engineering Society. IES LM-83-12. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Pub. L. No. 1, 13 (2012). IES-Illuminating Engineering Society. Recuperado de https://webstore.ansi.org/preview-pages/IESNA/preview_IES+LM-83-12.pdf
- Heschong Mahone Group. (1999). Daylighting in Schools. In *Daylighting in Schools An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance* (Vol. 1). California. Recuperado de <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28049.pdf>
- Ho, M.-C., Chiang, C.-M., Chou, P.-C., Chang, K.-F., & Lee, C.-Y. (2008). Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classrooms. *Energy and Buildings*, 40(10), 1844–1855. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2008.04.012>
- Hopkinson, R., & Longmore, J. (1959). The permanent supplementary artificial lighting of interiors. *Transaction of the Illuminating Engineering Society*, 24 (3_IEStrans), 121–148.
- Humphreys, M. A. (1994). An adaptive approach to the thermal comfort of office workers in North West Pakistan. *Renewable Energy*, 5(5–8), 985–992. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90121-X](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90121-X)
- Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (1998). Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, 104, 991.
- Hwang, R.-L., Lin, T.-P., Chen, C.-P., & Kuo, N.-J. (2009). Investigating the adaptive model of thermal comfort for naturally ventilated school buildings in Taiwan. *International Journal of Biometeorology*, 53(2), 189–200.
- Hwang, R.-L., Lin, T.-P., & Kuo, N.-J. (2006). Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energy and Buildings*, 38(1), 53–62. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2005.05.001>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2000). *Norma Técnica Colombiana 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*. Bogotá.
- Iglesias, V., Herrera, C. A., y Rosillo, M. E. (2016). *Confort ambiental en escuelas públicas de Cali*. Universidad del Valle, Programa Editorial.
- Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y certificación (ICONTEC). (2006). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595 Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares* (2nd ed.). Bogotá.
- Jago, E., & Tanner, K. (1999). Influence of the school facility on student achievement. Retrieved May, 31, 2004.
- James, A.-D., & Christian, K. (2012). An assessment of thermal comfort in a warm and humid school building at Accra, Ghana. *Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research*, 3(1), 535–547.

- recuperado de www.pelagiaresearchlibrary.com
- Kay, J. D. (1963). Daylighting for schools. *Light and lighting*, 56(9), 252–257.
- Kazanasmaz, T., Grobe, L. O., Bauer, C., Krehel, M., & Wittkopf, S. (2016). Three approaches to optimize optical properties and size of a South-facing window for spatial Daylight Autonomy. *Building and Environment*, 102, 243–256. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.018>
- Kryter, K. D. (1970). *The effects of noise on man*. Academic Press
- Kumar, S. (2009). Acoustic design of classrooms. En *Audio Engineering Society Convention 126*. Audio Engineering Society.
- Kwok, A. G. (1997). *Thermal comfort in naturally-ventilated and air-conditioned classrooms in the tropics*. [Doctoral dissertation, University of California]. <https://escholarship.org/uc/item/65d3k1jt>
- Kwok, A. G., & Chun, C. (2003). *Thermal comfort in Japanese schools*. *Solar Energy*, 74(3), 245–252.
- Kwok, A. G., & Grondzik, W. (2018). *The green studio handbook: Environmental strategies for schematic design*. Routledge
- Lamberts, R., Dutra, L., y Pereira, F. (2014). *Eficiência Energética na Arquitetura*. (ELETROBRAS/PROCEL, Ed.) (3rd ed.). Florianópolis.
- Larson, C. T., et al (1965). *The effect of windowless classrooms on elementary school children*. Michigan. Recuperado de: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED014847.pdf>
- Ledesma, S. L., Gonzalo, G. E., Cisterna, M. S., Vega, S. G., Quiñones, G. I., y Nota, V. M. (2004). Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en San Miguel de Tucumán. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 8, 05–55. Recuperado de <http://www.cricyt.edu.ar/lahv/asades/modulos/averma/trabajos/2004/2004-t005-a010.pdf>
- Ledesma, S. L., Nota, V., Gonzalo, G., Cisterna, M. S., Martínez, C., Quiñones, G., y Roldán, S. (2003). Estudios ambientales en aulas de escuelas públicas en san miguel de Tucumán S.L. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 7, 19–24.
- Liang, H.-H., Lin, T.-P., & Hwang, R.-L. (2012). Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings. *Applied Energy*, 94, 355–363. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2012.02.004>
- Ljung, R., & Kjellberg, A. (2009). Long reverberation time decreases recall of spoken information. *Building Acoustics*, 16(4), 301–311.
- Llinares, G. J., Llopis, R. A., Sancho, A., & Francisco, J. (1996). *Acústica arquitectónica y urbanística*. (Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Ed.) (1st ed.). Valencia.
- Mardaljevic, J., & Nabil, A. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research and Technology*, 37(1), 41–59. <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>
- Medina, A. (2010). *“La calidad acustica Arquitectonica” El ambiente acustico en edificios escolares de nivel superior* [Tesis de doctorado Instituto Politécnico Nacional]. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5264/AMBIENTEACUSTICO.pdf?sequence=1&isAllow ed=y>
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2010). *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RETILAP*. (2010). Bogotá. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES1805402010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6>
- Monteoliva, J. M., Aceña, A., Villalba, A. M., y Pattini, A. E. (2016). Modelo simplificado para el cálculo de iluminancia por luz natural (UDI) en espacios individuales perimetrales de cielos claros: Caso de estudio: Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable*, 6(1), 50–59.
- Monteoliva, J. M., y Pattini, A. (2013). Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleados. *Ambiente Construido*, 13(4), 235–248. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000400016>
- Monteoliva, J. M., Villalba, A., y Pattini, A. E. (2014). Uso de dispositivo de control solar en aulas: impacto en la simulación dinámica de la iluminación natural. *Ambiente Construido*, 14(3), 43–58. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000300004>
- Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy*

- and Buildings, 38(7), 905–913. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>
- Navarro, A. M., y Montesino, P. (1988). *Pablo Montesino. Curso de educación. Métodos de enseñanza y pedagogía.* (Ministerio de Educación, Ed.) (1st ed.). Recuperado de <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/d/1410/19/0>
- Olesen, B. W., & 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.
- Fanger, O. P. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.* McGraw-Hill.
- Pattini, A. (2000). Recomendaciones de niveles de iluminación en edificios no residenciales. Una comparación internacional. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*. Vol. 4,(1), 6.
- Pattini, A. (2009). Elementos de control de luz solar directa en fachadas vidriadas de edificios no residenciales de ciudad oasis. Rediseño para aulas. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 13, 179–186. Recuperado de <http://www.cricyt.edu.ar/lahv/asades/modulos/averma/trabajos/2009/2009-t005-a023.pdf>
- Pelegrín-García, D., & Brunskog, J. (2012). Speakers' comfort and voice level variation in classrooms: Laboratory research. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132(1), 249–260.
- Picard, M., & Bradley, J. S. (2001). Revisiting Speech Interference in Classrooms: Revisando la interferencia en el habla dentro del salón de clases. *Audiology*, 40(5), 221–244.
- Potes, F. (2009). Arquitectura y pedagogía en el desarrollo de la arquitectura moderna. *Revista Educación y Pedagogía*, 21, 29–66. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3291468>
- Raichel, D. R. (2006). *The science and applications of acoustics.* AIP Press
- Reppel, J., & Edmonds, I. R. (1998). Angle-selective glazing for radiant heat control in buildings: theory. *Solar Energy*, 62(3), 245–253.
- Rijal, H., Humphreys, M., & Nicol, F. (2019). Adaptive model and the adaptive mechanisms for thermal comfort in Japanese dwellings. *Energy and Buildings*, 202, 109371. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109371>
- Ruiz, J. M. R. (1994). El espacio escolar. *Revista Complutense de Educación*, 5(2), 93. <https://doi.org/10.5209/RCED.18624>
- San Juan, G., Hoses, S., y Martini, I. (2014). *Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI: Nota 5: Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares.* Recuperado de <https://publications.iadb.org/handle/11319/7113?locale-attribute=es&locale-attribute=en&locale-attribute=pt&locale-attribute=es&locale-attribute=pt>
- San Juan, G., Hoses, S., Rojas, D., y Moreno, J. (1999). Integración de la opinión de los usuarios en la evaluación ambiental de aulas escolares. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 3(1), 169–172. Recuperado de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/1999/1999-t008-a043.pdf>
- Sato, H., Morimoto, M., & 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., Sato, H., Morimoto, M., & 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.
- Schiller, G., Arens, E. A., Bauman, F., Benton, C., Fountain, M., & Doherty, T. (1988). A field study of thermal environments and comfort in office buildings. *ASHRAE Transactions*, 94 Part 2. Recuperado de scholarship.org/content/qt4km240x7/qt4km240x7.pdf?t=lpz1vm
- Commission Internationale de l'Eclairage, & (CIE). (2010). *PROCEEDINGS of CIE 2010: Effects of light in schools.* (CIE, Ed.) (1st ed.). Vienna. Recuperado de http://files.cie.co.at/928_CIE_x035-2010%28ToC%29.pdf
- Stillman, C. G., & Cleary, R. C. (1949). *The modern school.* Architectural Press.
- Subhashini, S., & Thirumaran, K. (2018). A passive design solution to enhance thermal comfort in an

- educational building in the warm humid climatic zone of Madurai. *Journal of Building Engineering*, 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.014>
- Sutherland, L. C., & Lubman, D. (2004). Development and challenges of the American National Standards Institute standard for classroom acoustics. Development and challenges of the American National Standards Institute Standard for Classroom Acoustics. *Seminars in Hearing*, 25(02), 167–177. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1055/s-2004-828667>
- Tablada, A., De la Peña, A. M., & De Troyer, F. (2005). *Thermal comfort of naturally ventilated buildings in warm-humid climates: field survey*. 22 Conference on Passive and Low Energy Architecture (pp. 1–6). Beirut, Lebanon.
- Taboada, B., y Aguilar, J. (2008). *Salud Escolar. Texto básico*. Ciencias Médicas.
- Teli, D., Jentsch, M. F., & James, P. A. B. (2014). The role of a building's thermal properties on pupils' thermal comfort in junior school classrooms as determined in field studies. *Building and Environment*, 82, 640–654. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2014.10.005>
- Tikkanen, K. T. (1970). *Significance or windows in classrooms*. [MA Thesis University of California, Berkeley].
- Murillo, F. J., & 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.14507/epaa.v20n18.2012>
- 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. *AUS [Arquitectura/ Urbanismo /Sustentabilidad]*, (20), 70–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.4206/aus.2016.n20-11>
- Trebilcock, M., Bobadilla, A. M., Piderit, B., Guzmán, F., Figueroa, R., Muñoz, C., Sánchez, R., ... Hernández, J. (2012). Environmental Performance of Schools in Areas of Cultural Sensitivity. *PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an Environmentally Responsible Architecture*, (November 2012), 7–12.
- U.S. Green Building Council-USGBC. (2013). *LEED Reference Guide for Building Design and Construction*. Washington DC.
- Vanos, J. K. (2015). Children's health and vulnerability in outdoor microclimates: A comprehensive review. *Environment International*, 76, 1–15.
- Villalba, A., Monteoliva, J., Pattini, A., y Yamín, J. (2011). Control solar sobre superficies vidriadas. Evaluación lumínica mediante métricas dinámicas y preferencia de usuarios a filtros solares. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 15, 79–88.
- Wu, W., & Ng, E. (2003). A review of the development of daylighting in schools. *Lighting Research and Technology*, 35(2), 111–125. <https://doi.org/10.1191/1477153503li072oa>
- Yamile González Sánchez, D., y Fernández Díaz, Y. (2014). Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares Noise pollution in schools: its effect on the health of students and teachers. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 402–410. Recuperado de <http://scielo.sld.cu>
- Yamin, J. A., Colombo, E. M., Rodríguez, R. G., & Pattini, A. E. (2016). Evaluación de confort visual en escenas con iluminación natural directa. En *I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable* (Vol. 1, pp. 189–199). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/59346>
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J., y Montoya, O. L. (2018). *Comodidad ambiental en aulas escolares. Incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo de los estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali* (1st ed.). Editorial Bonaventuriana; Ediciones Unisalle; Universidad Nacional de la Plata.
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J., y Montoya, O. L. (2018). Identificación de factores de desempeño ambiental (acústico, térmico y visual) determinantes de la salud mental de docentes de escuelas públicas de Bogotá, Medellín y Cali. *Alapsa. VIII Congreso latinoamericano de psicología de la salud*, 2018. La Habana.

CAPITULO 4: CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA

- Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM). (2000) *Documento Técnico de Soporte al Plan de Ordenamiento Municipal año 2000*. http://idesc.cali.gov.co/download/pot_2000/pot_2000_documento_soporte.pdf
- Observatorio Sismológico del Suroccidente (OSSO). (1994). *Ofertas y amenazas ambientales en Cali*. Santiago de Cali.

CAPITULO 5: METODOLOGIA PARA EL ABORDAR DEL PROBLEMA

- Al-Rashidi, K., Loveday, D., & Al-Mutawa, N. (2009). *Investigating the applicability of different thermal comfort models in Kuwait classrooms operated in hybrid air-conditioning mode. Sustainability in energy and buildings* (pp. 347-355). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03454-1_36.
- ANSI/ASHRAE. Standard 55-2010: Thermal environmental conditions for human occupancy, Pub. L. No. 55-2010, ASHRAE (2010). ASHRAE. <https://doi.org/https://doi.org/ISSN 1041-2336>
- ANSI/ASHRAE. Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Pub. L. No. 55-2017, ASHRAE (2017). ASHRAE.
- ASHRAE. (2005). Thermal Comfort. In *ASHRAE Handbook—Fundamentals* (p. 29).
- Baruah, P., Kumar Singh, M., & Mahapatra, S. (2014). Thermal comfort in naturally ventilated classrooms. *PLEA 2014 - 30th International Plea Conference*, (December), 1–8.
- Forbes, F. J. (2017). *Diseño de una aplicación computacional para el cálculo de factor de visión y TMR en espacios arquitectónicos*. [Tesis de maestría, Universidad Universidad del Valle].
- Groat, L. N., & Wang, D. (2013). *Architectural research methods*. John Wiley & Sons.
- Hoyt, T., Schiavon, S., Piccioli, A., Cheung, T., Moon, D., & Steinfeld, K. (2017). CBE Thermal Comfort Tool. Recuperado de Center for the Built Environment, University of California Berkeley recuperado de: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2000). *Norma Técnica Colombiana 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y certificación (ICONTEC). (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595,Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*. (571).
- Inche, J., Andía, Y., Huamanchumo, H., López, M., Vizcarra, J., y Flores, G. (2003). Paradigma cuantitativo: un enfoque empírico y analítico. *Industrial Data*, 6(1), 23–37.
- Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2012). The 'adaptive zone'-A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. *Lighting Research and Technology*, 44(2), 149–170. <https://doi.org/10.1177/1477153511420097>
- Kwok, A. G., & Chun, C. (2003). Thermal comfort in Japanese schools. *Solar Energy*, 74(3), 245–252. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(03\)00147-6](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(03)00147-6)
- Montoya, O. L., San Juan, G. A., y Saavedra, L. (2019). Evaluación de propuestas de diseño para la optimización del desempeño lumínico en aulas del trópico. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, 7, 165–175.
- Nematchoua, M. K., Tchinda, R., & Orosa, J. A. (2014). Adaptation and comparative study of thermal comfort in naturally ventilated classrooms and buildings in the wet tropical zones. *Energy and Buildings*, 85, 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.029>
- Nicol, F., Humphreys, M., & Roaf, S. (2012). *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. Routledge.
- Rodrigo, B. G., Sanabria, J. C., Marchamalo, M., y Umana, M. (2012). Análisis del confort y el

- comportamiento higrotérmico de sistemas constructivos tradicionales y actuales en viviendas de Santa Ana-Ciudad Colón (Costa Rica). *Informes de La Construcción*, 64(525), 75–84.
- San Juan, G., Hoses, S., y Martini, I. (2014). *Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI: Nota 5: Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares*. Recuperado de <https://publications.iadb.org/handle/11319/7113?locale-attribute=es&locale-attribute=en&locale-attribute=pt&locale-attribute=es&locale-attribute=pt>
- San Juan, G., Hoses, S., Rojas, D., y Moreno, J. (1999). Integración de la opinión de los usuarios en la evaluación ambiental de aulas escolares. *Avances en energías renovables y medio ambiente (AVERMA)*, ISSN, 329–5184.
- Subhashini, S., & Thirumaran, K. (2018). A passive design solution to enhance thermal comfort in an educational building in the warm humid climatic zone of Madurai. *Journal of Building Engineering*, 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.014>
- UNE-EN ISO. ISO 7730: Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2006).
- Yin, R. (1994). Investigación sobre Estudios de Casos. Diseño y Métodos. *Applied Social Research Methods Series*, 5, 1–35. Recuperado de: [http://www.polipub.org/documentos/YIN ROBERT .pdf](http://www.polipub.org/documentos/YIN%20ROBERT.pdf)

CAPITULO 6: ANALISIS DE LA AUDITORIA AMBIENTAL DE PERCEPCION DEL USUARIO

- Acoustical Society of America. Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools. ANSI/ASA S12.60-2010 (2010).
- ANSI/ASHRAE. Standard 55–2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Pub. L. No. 55–2017, ASHRAE (2017). ASHRAE.
- ANSI/ASHRAE. Standard 55-2010: Thermal environmental conditions for human occupancy, Pub. L. No. 55–2010, ASHRAE (2010). ASHRAE. [https://doi.org/https://doi.org/ISSN 1041-2336](https://doi.org/https://doi.org/ISSN%201041-2336)
- Augusto, A., Xavier, P., & Lamberts, R. (2000). Indices of thermal comfort developed from field survey in Brazil. *Transactions-American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, 106(1), 45–68. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/255239819>
- Baruah, P., Kumar Singh, M., & Mahapatra, S. (2014). Thermal Comfort in Naturally Ventilated Classrooms. *PLEA 2014 - 30th International Plea Conference*, (December), 1–8.
- Cengel, Y., y Boles, M. A. (2009). *Termodinámica, 6ª Edición*, Editorial Mc Graw Hill.
- Dockrell, J. E., & 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.
- Evans, J. M., y Schiller, S. De. (1994). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Buenos Aires, EUDEBA, Ediciones Previas.
- Fanger, P. O., & Toftum, J. (2002). Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, 34(6), 533–536. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00003-8)
- Graves, B. E., & Pearson, C. A. (1993). *School ways: The planning and design of America's schools*. McGraw-Hill.
- Illuminating Engineering Society. IES LM-83-12. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Pub. L. No. 1, 13 (2012). IES-Illuminating Engineering Society. Recuperado de https://webstore.ansi.org/preview-pages/IESNA/preview_IES+LM-83-12.pdf
- Ho, M.-C., Chiang, C.-M., Chou, P.-C., Chang, K.-F., & Lee, C.-Y. (2008). Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classrooms. *Energy and Buildings*, 40(10), 1844–1855. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2008.04.012>
- Hopkinson, R., & Longmore, J. (1959). The permanent supplementary artificial lighting of interiors.

- Transaction of the Illuminating Engineering Society*, 24 (3_IESTrans), 121–148.
- Hoyt, T., Schiavon, S., Piccioli, A., Cheung, T., Moon, D., & Steinfeld, K. (2017). CBE Thermal Comfort Tool. Recuperado de Center for the Built Environment, University of California Berkeley Recuperado de: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- Hwang, R.-L., Lin, T.-P., & Kuo, N.-J. (2006). Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energy and Buildings*, 38(1), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.05.001>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2000). *Norma Técnica Colombiana 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*. Bogotá.
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2004). Norma Técnica Colombiana NTC 5316. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y certificación (ICONTEC). (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595,Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*. (571).
- James, A., Christian, K., & James, A. (2012). *An assessment of thermal comfort in a warm and humid school building at*. 3(1), 535–547.
- Koenigsberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew, A., y Szokolay, S. V. (1977). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Paraninfo.
- Konya, A. (1980). *Design Primer for Hot Climates* (1st ed.). The Architectural Press Ltda. London.
- Kumar, S. (2009). Acoustic design of classrooms. En *Audio Engineering Society Convention 126*. Audio Engineering Society.
- Kwok, A. G. (1997). *Thermal comfort in naturally-ventilated and air-conditioned classrooms in the tropics*. [Doctoral dissertation, University of California]. <https://escholarship.org/uc/item/65d3k1jt>
- Kwok, A. G., & Chun, C. (2003). Thermal comfort in Japanese schools. *Solar Energy*, 74(3), 245–252. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(03\)00147-6](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(03)00147-6)
- Kwok, A. G., Reardon, J., & Brown, K. (1998). Thermal comfort in tropical classrooms/Discussion. *ASHRAE Transactions*, 104, 1031.
- Liang, H.-H., Lin, T.-P., & Hwang, R.-L. (2012). Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings. *Applied Energy*, 94, 355–363. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2012.02.004>
- Ljung, R., & Kjellberg, A. (2009). Long reverberation time decreases recall of spoken information. *Building Acoustics*, 16(4), 301–311.
- Mardaljevic, J., & Nabil, A. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research and Technology*, 37(1), 41–59. <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>
- Medina, A. (2010). *“La calidad acustica Arquitectonica” El ambiente acustico en edificios escolares de nivel superior* [Tesis de doctorado Instituto Politécnico Nacional]. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5264/AMBIENTEACUSTICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2010) . *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RETILAP*. , (2010). Bogotá. Recuperadode https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6
- Mishra, A. K., & Ramgopal, M. (2014). Thermal comfort in undergraduate laboratories - A field study in Kharagpur, India. *Building and Environment*, 71, 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.006>
- Monteoliva, J. M., y Pattini, A. (2013). Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleados. *Ambiente Construido*, 13(4), 235–248. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000400016>
- Monteoliva, J. M., Villalba, A., y Pattini, A. E. (2014). Uso de dispositivo de control solar en aulas: impacto en la simulación dinámica de la iluminación natural. *Ambiente Construido*, 14(3), 43–58. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000300004>

- Montoya, O. L., y Herrera, C. A. (2019). Confort térmico: percepción, teoría y simulación en aulas naturalmente ventiladas en el trópico. In A.-B. – Association, International Building Performance Simulation. Chile (Ed.), *Actas del VI Congreso Latinoamericano de Simulación de edificios. IBPSA LATAM* (pp. 53–65). Mendoza.
- Nematchoua, M. K., Tchinda, R., & Orosa, J. A. (2014). Adaptation and comparative study of thermal comfort in naturally ventilated classrooms and buildings in the wet tropical zones. *Energy and Buildings*, 85, 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.029>
- Ogbonna, A. C., & Harris, D. J. (2008). Thermal comfort in sub-Saharan Africa: Field study report in Jos-Nigeria. *Applied Energy*, 85(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.06.005>
- Olgay, V. (1963). *Clima y Arquitectura en Colombia* (1st ed.); Gustavo Gili S.A.
- Pelegrín-García, D., & Brunskog, J. (2012). Speakers' comfort and voice level variation in classrooms: Laboratory research. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132(1), 249–260.
- Rodrigo, B. G., Sanabria, J. C., Marchamalo, M., y Umana, M. (2012). Análisis del confort y el comportamiento higrotérmico de sistemas constructivos tradicionales y actuales en viviendas de Santa Ana-Ciudad Colón (Costa Rica). *Informes de La Construcción*, 64(525), 75–84.
- Subhashini, S., & Thirumaran, K. (2018). A passive design solution to enhance thermal comfort in an educational building in the warm humid climatic zone of Madurai. *Journal of Building Engineering*, 18, 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.04.014>
- Wong, N. H., & Khoo, S. S. (2003). Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and Buildings*, 35(4), 337–351.
- Wu, W., & Ng, E. (2003). A review of the development of daylighting in schools. *Lighting Research and Technology*, 35(2), 111–125. <https://doi.org/10.1191/1477153503li072oa>
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J., y Montoya, O. L. (2018). *Comodidad ambiental en aulas escolares. Incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo de los estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali* (1st ed.). Editorial Bonaventuriana; Ediciones Unisalle; Universidad Nacional de la Plata.

CAPITULO 7: NORMA NTC 4595. CUMPLIMIENTO Y CONFORT

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2000). *Norma Técnica Colombiana 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*. Bogotá.
- Montoya, O. L. (2019). Cumplimiento de la norma sobre comodidad ambiental en aulas de colegios públicos en Cali. *XV ENCAC, Encontro Nacional de Conforto No Ambiente Construido*, 1-9.

CAPITULO 8: ESTRATEGIAS DE DISEÑO

- ASHRAE. (2005). Capítulo 8: Thermal Comfort. In *ASHRAE Handbook—Fundamentals* (p. 29).
- Cengel, Y., y Boles, M. A. (2009). *Termodinámica, 6ª Edición*. Mc Graw -Hill
- Díaz, L. A., Vásquez, N. G., Cano, L., y Cuervo, A. A. (2013). Revisión de las recomendaciones de la NTC 4595 con relación a las aberturas de los salones de clase. *DEARQ: Revista de Arquitectura de La Universidad de Los Andes*, (13), 214–229.
- Evans, J. M. (2007). *The comfort triangles: a new tool for bioclimatic design* [Doctoral dissertation, Delft University of Technology (DUT)]. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5a12f90e-2e07-4ba7-b21f-1da81c5c523a>

- Evans, J. M., y Schiller, S. De. (1994). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Buenos Aires, EUDEBA, Ediciones Previas.
- Freixanet, V. A. (1999). *Arquitectura bioclimática. Notas del curso*. México.
- Gamboa, J. D., Rosillo, M. E., Herrera, C. A., Lopez, O., y Iglesias, V. (2011). *Confort Ambiental en vivienda de interés social en Cali*. Universidad del Valle.
- Givoni, B. (1969). *Man, climate and architecture*. Elsevier.
- Gonzalo, G. E. (2003). *Manual de Arquitectura bioclimática*. Nobuko.
- Illuminating Engineering Society. IES LM-83-12. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Pub. L. No. 1, 13 (2012). IES-Illuminating Engineering Society. Recuperado de https://webstore.ansi.org/preview-pages/IESNA/preview_IES+LM-83-12.pdf
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2000). *Norma Técnica Colombiana 4595: Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*. Bogotá.
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595, Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*. (571).
- Konya, A. (1980). *Design Primer for Hot Climates* (1st ed.). The Architectural Press Ltda. London.
- Mardaljevic, J., & Nabil, A. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research and Technology*, 37(1), 41–59. <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>
- Olgay, V. (1963). *Clima y Arquitectura en Colombia* (1st ed.); Gustavo Gili S.A.
- San Juan, G., Hoses, S., y Martini, I. (2014). *Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI: Nota 5: Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares*. Recuperado de <https://publications.iadb.org/handle/11319/7113?locale-attribute=es&locale-attribute=en&locale-attribute=pt&locale-attribute=es&locale-attribute=pt>
- Serra, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Gustavo Gili.
- Trebilcock, M. (2009). Proceso de Diseño Integrado: nuevos paradigmas en arquitectura sustentable. *Arquitectura Revista*, 5(2), 65–75. <https://doi.org/10.4013/arq.2009.52.01>
- U.S. Green Building Council-USGBC. (2013). *LEED Reference Guide for Building Design and Construction*. Washington DC.

CAPITULO 9: CONCLUSIONES

- Banco Interamericano de Desarrollo (IDB). (2019). *Escuelas del siglo XXI en América Latina y el Caribe*. IDB.
- Montoya, O. L. (2019). Cumplimiento de la norma sobre comodidad ambiental en aulas de colegios públicos en Cali. *XV ENCAC, Encontro Nacional de Conforto No Ambiente Construido*, 1-9.
- Montoya, O. L., y San Juan, G. A. (2018). Calidad ambiental de las aulas de colegios en el trópico: Evaluación subjetiva y objetiva del confort térmico, Visual y sonoro. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 6, 133–144.
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J., y Montoya, O. L. (2018). *Comodidad ambiental en aulas escolares. Incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo de los estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali* (1st ed.). Editorial Bonaventuriana; Ediciones Unisalle; Universidad Nacional de la Plata.
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J., y Montoya, O. L. (2018). Identificación de factores de desempeño ambiental (acústico, térmico y visual) determinantes de la salud mental de docentes de escuelas públicas de Bogotá, Medellín y Cali. *Alapsa. VIII Congreso Latinoamericano de Psicología de la Salud*, 2018. La Habana.

GLOSARIO / NOMENCLATURA

AAPU	Auditoría Ambiental de Percepción del Usuario-AAPU
ACNUR	Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados
Carta psicométrica	Carta que reúne las características del aire como: Temperatura de bulbo seco (bs), Temperatura de bulbo húmedo (Tbh), Temperatura de punto de rocío (Tpr), Humedad relativa (HR), Humedad absoluta (ha), Entalpía (h), Volumen específico. Permite determinar la variación de las propiedades en función de uno de ellos.
Clo	Factor por aislamiento de ropa (del ing. <i>Clothing</i>)
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DF(FLD)	(Daylight Factor): <i>“Iluminancia recibida en un punto de un interior, desde un cielo con distribución lumínica conocida o asumida, expresada como un porcentaje de la iluminancia horizontal en el exterior, producida por un hemisferio sin obstrucciones del mismo cielo”</i> . (ICONTEC, 2000)
EST	Escala de Sensación Térmica
I.E	Institución Educativa
ICBF	Instituto Colombiano de Bienestar Familiar
ICCE	Instituto Colombiano de Construcciones Escolares
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
ICTZ	Zona de Convergencia Intertropical
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia
IIPAC	Instituto de Investigaciones y políticas del Ambiente Construido, UNLP, Argentina
INEM	Instituto Nacional de Educación Media
Ladrillo tolete	Ladrillo de cerámica, común, cocido y macizo
Met	Tasa metabólica (del ing. <i>Metabolic rate</i>)
NTC	Norma Técnica Colombiana
NTC 4595	Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
OSSO	Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano
Panel yeso	Placa de yeso procesado entre dos cartones
PMV	Voto medio estimado (del inglés <i>Predicten Mean Vote</i>)
POT	Plan de Ordenamiento Territorial

PPD	Porcentaje estimado de insatisfechos (del inglés <i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>)
SEM	Secretaria de Educación Municipal
SISPA	Sistema de Procesamiento de Auditoria
SISPA O+S:	Sistema de Procesamiento de Auditoria, Objetiva +Subjetiva
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, México
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (del ing. United Nations International Children's Emergency Fund)
Uo	Nivel de uniformidad de la iluminancia en un espacio (%)
VST	Votos de Sensación Térmica

SIMBOLOS

T_a	Temperatura ambiente
T_{bs}	Temperatura de bulbo seco
T_{bh}	Temperatura de bulbo húmedo
P_a	Presión de vapor de agua
P_t	Presión atmosférica
HR	Humedad relativa
W_a	Radio de humedad
V_a	Velocidad del aire
T_{mr}	Temperatura media radiante, se presenta de las dos maneras para respetar la originalidad de las ecuaciones
$\overline{T_r}$	(del ing. Effective Temperature)
ET	
Tacep	Temperatura ambiente interior aceptable modelo adaptativo
T_n	Temperatura Neutral
$\overline{T_{pma(ext)}}$	Temperatura ambiente promedio exterior
T_o	Temperatura Operativa
R	Resistencia
K	Transmitancia térmica
λ	Conductividad térmica
ρ	Densidad
δ	Permeabilidad al vapor de agua
Δ	Permeancia al vapor de agua
q_s	Calor incidente solar
q_{in}	Calor ganado en el espacio interior
FG	Factor de Ganancia solar
h_o	coeficiente convección
U	Coeficiente de transferencia de calor