

# Experiencias Esenciales Sobre el Hábitat Contemporáneo

Ser Humano, Hábitat y Ambiente



## *Compiladores*

Elisabeth Herreño Téllez

Ader Augusto García Cardona

UNIVERSIDAD DE  
SAN BUENAVENTURA



e-ISBN: 978-958-8474-99-1

Colección Señales

# Experiencias Esenciales Sobre el Hábitat Contemporáneo

Ser Humano, Hábitat y Ambiente

Elisabeth Herreño Téllez  
Ader Augusto García Cardona  
Compiladores

Medellín, 2021



**UNIVERSIDAD DE  
SAN BUENAVENTURA**



Herreño Téllez, Elisabeth y García Cardona, Ader Augusto  
Experiencias Esenciales sobre el Hábitat Contemporáneo. Ser Humano, Habitat y Ambiente/  
Compilado por Elisabeth Herreño Téllez y Ader Augusto García Cardona  
—Medellín: Editorial Bonaventuriana, 2021  
295 p. —(Colección Señales)  
Incluye referencias bibliográficas  
e-ISBN: 978-958-8474-99-1  
1. Arquitectura; 2. Arquitectura-Investigación; 3. Bioclimática.  
720  
H564

© Universidad de San Buenaventura Medellín



Colección Señales

**Experiencias Esenciales sobre el Hábitat Contemporáneo. Ser Humano, Habitat y Ambiente.**

**Compilador:** Elisabeth Herreño Téllez y Ader Augusto García Cardona.

**Autores:** Natalia Giraldo Vásquez, Ricardo Forgiarini Rupp, Verónica Giraldo Gaviria, Lucas Arango Díaz, Elisabeth Herreño Téllez, Yury Andrea Hernández Duque, Elizabeth Parra Correa, Ader Augusto García Cardona, Diana Elizabeth Valencia Londoño, Carlos Alberto Mejía Barrera, Carlos Mauricio Bedoya Montoya, Eva Leticia Ortiz Avalos, Olga Beatriz Ramírez Gómez, Alejandro Naranjo Gaviria, Olga Lucia Montoya, Juliana Ptedrahita Holguín, David Saldarriaga Bolívar.

**Grupo de investigación:** Hombre, proyecto y ciudad.

Universidad de San Buenaventura Medellín.

Universidad de San Buenaventura Colombia.

© Editorial Bonaventuriana, 2021

Universidad de San Buenaventura Medellín

Coordinación Editorial Medellín

Carrera 56C N° 51-110 (Medellín)

Calle 45 N° 61-40 (Bello)

PBX: 57 (4) 5145600

editorial.bonaventuriana@usb.edu.co

www.usbmed.edu.co

www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co

**Coordinación editorial:** Daniel Palacios Gómez.

**Asistente Editorial:** Laura Catalina Blandón Isaza.

**Corrección de estilo:** Laura Catalina Blandón Isaza.

**Diseño y diagramación:** Carlos Gaviria Peña.

**Ilustración de carátula:** Carlos Gaviria Peña.

Las opiniones, originales y citas son responsabilidad de los autores. La Universidad de San Buenaventura salva cualquier obligación derivada del libro que se publica. Por lo tanto, ella recaerá única y exclusivamente sobre los autores.

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

e-ISBN: 978-958-8474-99-1.

Cumplido el Depósito Legal (Ley 44 de 1993, Decreto 460 de 1995 y Decreto 358 de 2000).

Noviembre de 2021



# Contenido

|   |    |
|---|----|
| <b>Prólogo</b>  | 6  |
| <i>S. Elena Carrión</i>   |    |
| <b>Introducción</b>   | 8  |
| <i>Elisabeth Herreño Téllez &amp; Ader Augusto García Cardona</i>   |    |
| <b>Apartado 1. Habitabilidad y ergonomía</b>  | 12 |
| <b>Confort térmico en el ambiente construido: una breve introducción a la teoría analítica y adaptativa</b>   | 13 |
| <i>Natalia Giraldo Vásquez &amp; Ricardo Forgiarini Rupp</i>  |    |
| <b>Confort térmico en el ambiente construido: factores humanos y ambientales</b>  | 31 |
| <i>Ricardo Forgiarini Rupp &amp; Natalia Giraldo Vásquez</i>  |    |
| <b>Factores humanos en el desempeño de la iluminación natural de oficinas. Método de evaluación integrado de suficiencia lumínica, probabilidad de deslumbramiento y efectos no visuales de la luz natural sobre la salud</b> | 48 |
| <i>Verónica Giraldo Gaviria, Lucas Arango Díaz &amp; Elisabeth Herreño Téllez</i>   |    |
| <b>Estudio de correlación entre la eficiencia del sueño y el ambiente higró-térmico del dormitorio</b>  | 72 |
| <i>Yury Andrea Hernández Duque &amp; Elizabeth Parra Correa</i>   |    |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Experiencias didácticas de los estudiantes de arquitectura en modelos tridimensionales para comprender la habitabilidad doméstica</b>   | <b>92</b>  |
| <i>Ader Augusto García Cardona &amp; Elisabeth Herreño Téllez</i>  |            |
| <b>Apartado 2. Sostenibilidad y vida ciudadana</b>   | <b>124</b> |
| <b>Referentes conceptuales y metodológicos relacionados con la sostenibilidad ambiental de la vivienda</b>   | <b>125</b> |
| <i>Diana Elizabeth Valencia Londoño</i>  |            |
| <b>Impactos de la minería a cielo abierto asociada a la construcción a comunidades cercanas</b>  | <b>160</b> |
| <i>Carlos Alberto Mejía Barrera &amp; Carlos Mauricio Bedoya Montoya</i>   |            |
| <b>Ciudad, mujeres y sostenibilidad</b>  | <b>186</b> |
| <i>Eva Leticia Ortiz Avalos</i>  |            |
| <b>Apartado 3. Ambiente construido y desempeño técnico</b>   | <b>201</b> |
| <b>Propuesta de método para reacondicionamiento de envolvente arquitectónica para edificaciones. Caso de estudio: edificio educativo de Envigado, Antioquia</b>                        | <b>202</b> |
| <i>Olga Beatriz Ramírez Gómez, Lucas Arango Díaz &amp; Alejandro Naranjo Gaviria</i>   |            |
| <b>Alternativas de mejoramiento térmico basadas en la envolvente para aulas de colegios en el trópico</b>  | <b>227</b> |
| <i>Olga Lucia Montoya &amp; Juliana Piedrahita Holguín</i>   |            |
| <b>El balcón como dispositivo de sombreado y su efecto sobre la reducción de la carga térmica: caso de estudio en edificios residenciales de gran altura en el clima cálido-húmedo</b> | <b>255</b> |
| <i>David Saldarriaga Bolívar</i>   |            |
| <b>Conclusiones del libro</b>  | <b>283</b> |

# Prólogo

*Tiempos de Pandemia,  
cerebro en revolución,  
ideas de futuro,  
construcciones para el mundo.*

Algunos años atrás, hacia el año 2013, un grupo de profesores de la facultad de Artes Integradas tenían el sueño de formular una maestría en Bioclimática, que fuera el escenario del encuentro de diferentes disciplinas, que profundizaran en los estudios del hábitat, del confort, del mejoramiento de los espacios, de la ergonomía, de los estudios de la iluminación, entre otros aspectos que rondaban por sus cabezas y que requerían proponer a mayor profundidad desde el desarrollo tecnológico y desde la investigación. Cumpliéndose este objetivo, se dio apertura a la Maestría en el año 2015 y desde allí, a una serie de reflexiones interdisciplinarias, al trabajo articulado de profesores y estudiantes, a la apertura de contactos y de redes, a la conformación de una comunidad académica que no sólo cuenta con personas vinculadas desde la región, sino también, que ha logrado capitalizar profesionales, amigos y contactos, en otros lugares del mundo, todos reunidos en torno al bienestar humano, la tecnología y el hábitat.

La dinámica de la maestría ha traído consigo una producción interesante de espacios académicos, entre ellos, la socialización semestral de los trabajos de grado, que nutren las diferentes líneas de investigación, pero también, se han tejido otros tipos de reflexiones que quedan pendientes para seguir depurándose con el tiempo. Recoger estas experiencias, así como las propuestas por profesores y colaboradores, desde diferentes ópticas y perspectivas, pero en resonancia con esta comunidad, es una oportunidad muy importante para nuestra facultad de Artes Integradas. Potenciar todo este conocimiento, aventurarnos a contar lo que se hace en un aula de clase, en una experiencia formativa, desde un proyecto de in-

vestigación, lo que pasa cuando una idea madura hasta llegar a un escenario de apuestas y construcciones académicas, permiten cumplir con los propósitos de creación de la Maestría.

El conocimiento aquí no se ha diluido, por el contrario, se encuentra disponible en una compilación creada para el encuentro, la difusión, la transmisión de experiencias, llevando hacia otros lugares las construcciones académicas de estos años y los frutos que se han podido recoger en esta cosecha.

En medio de este proceso, aparece un escenario de pandemia COVID 19, y para nuestra facultad y su equipo de profesores, ha sido un tiempo de profunda reflexión. Atravesados por un momento histórico no planificado, se ha generado una rápida habilidad de reinención, de resiliencia, recobrando la importancia del encuentro, de las alianzas, de lo colectivo, de las redes, se ha potenciado el reconocimiento del otro y lo otro, de manera que hoy podemos presentar este espacio literario que comprende un encuentro no sólo de saberes, sino también, de un grupo humano que propone sus convicciones, aprendizajes, hallazgos, reflexiones y *Experiencias esenciales* sobre el hábitat contemporáneo.

Mucha tenacidad y trabajo colaborativo se requirieron para poner cada una de las líneas y narrativas en esta obra. Un trabajo silencioso, en confinamiento desde diferentes latitudes, personas habitando lugares con diversas situaciones frente a la pandemia, presiones y noticias a diario, cifras y estadísticas, corrieron sin lugar a duda por estos tiempos de escritura. Sin embargo, esta iniciativa, este deseo de proponer un compendio de producciones entorno al hábitat contemporáneo, logró su cometido a feliz término.

Apreciado lector, usted encontrará en las siguientes páginas un trabajo académico que logró articular el hábitat y la experiencia de habitar desde: la teoría, la analítica, lo técnico, la geografía, el aula de clase, el concepto de lo doméstico, la sostenibilidad, la construcción, la minería, la ciudad, la mujer, el envolvente, el trópico, el sombreado, entre otras categorías. ¡Que estas páginas sean un desafío a su conocimiento y que pueda vivirlo con tal entusiasmo, el mismo puesto por cada uno de sus autores!

S. Elena Carrión

# Introducción

A finales del 2019 en una reunión del Comité Curricular de la maestría en Bioclimática de la Universidad de San Buenaventura (USB), en la que se hacía un balance de los trabajos de grado culminados, surgió la iniciativa de dar a conocer los resultados obtenidos hasta ese momento, con un doble propósito: por un lado, la novedad de algunos de ellos y, por el otro, la necesidad de mejorar la visibilidad del programa. La convocatoria fue inmediata y la respuesta de los autores tampoco se hizo esperar, todos motivados por el tema de: *Experiencias esenciales sobre el hábitat contemporáneo. Ser humano, hábitat y ambiente*, pretexto para escribir acerca de problemas actuales y que tienen que ver sobre cómo viven las personas, sus derechos y deberes para con los demás, el medio ambiente y el futuro en el que se incluye la equidad y la reivindicación de las minorías. Importa, además, reconocer el lugar prominente de los medios de comunicación y las redes sociales, transmisores de nuevas formas de relación entre las personas y de estas con el mundo que habitan, enfatizando en la persona y la subjetividad como el centro del universo diverso. Por otro lado, la agenda mundial sobre la preservación del planeta, el calentamiento global, los derechos de los animales y los árboles, configuran un nuevo panorama para los investigadores y académicos de la primera parte del siglo xxi. La pandemia y el confinamiento del 2020 apoyan esas hipótesis de la reinención de la vida, la virtualidad y la prohibición de la interacción social, que generan crisis en la expresión cotidiana del contacto y la cohabitación de los cuerpos. Ahora mismo no hay certezas de lo que pasará ni de las secuelas en la nueva idea del mundo que habitamos, la incertidumbre mundial está presente y las especulaciones reclaman de los académicos e intelectuales una opinión construida desde la observación, la conjetura y la probabilidad, retos a los que hay que hacer frente, tal vez como una oportunidad que no volverá a repetirse.

¡Ya vivimos esa realidad! Entre la convocatoria a participar en este libro y la recepción de los capítulos, ocurrió el primer confinamiento, muchos de los autores ya mencionan esta circunstancia como un hecho que les hizo cambiar de rumbo en sus escritos, o tal vez, hacer énfasis en elementos que en condiciones normales no lo ameritarían. Este libro es un texto escrito en la época más extraña de la humanidad en su historia reciente, es testimonio de opiniones y reflexiones de personas haciendo una nueva lectura de su presente y muy seguramente de su futuro cercano. Hacer este reconocimiento permite poner en contexto las lecturas futuras que guíen a nuestros lectores sobre las circunstancias que animaron o desanimaron a los autores que nos acompañan en esta propuesta.

## Estructura temática del libro:

En el contexto académico de la Maestría en Bioclimática, se ha construido un acuerdo epistemológico que señala a las personas y a los lugares donde habitan como el eje de reflexión y construcción de conocimiento, así mismo, se ha trabajado con un enfoque metodológico que reconoce el valor de las propias experiencias vividas como ejercicios didácticos significativos de estudiantes y docentes, que involucran el ámbito del hábitat de cada uno de ellos. Contenido y metodología configuran una unidad espacio temporal a distintas escalas, que en el caso de este libro empiezan por el ser humano, esfera íntima de la persona, luego se traslada al lugar donde ocurre la interacción social y ecológica, y prosigue al edificio, conexión entre persona y lugar.

El primer apartado, *Habitabilidad y ergonomía*, presenta cinco trabajos sobre confort térmico y lumínico, que actualizan la reflexión sobre las teorías del confort, advierten sobre la subjetividad de las personas y los contextos en los que se produce la situación estudiada, por ejemplo la incidencia de la luz natural en espacios de oficinas, o la relación entre el buen dormir y las condiciones ambientales de la habitación, este último, enfoque novedoso en la manera de abordar asuntos que ocurren en lo doméstico, históricamente tratados en ambientes laborales o de la medicina. El apartado concluye con un texto que propone una lectura divergente de los modelos tridimensionales en la enseñanza de los espacios domésticos para los estudiantes de arquitectura; lo que al parecer es un acto didáctico convencional en cualquier escuela de arquitectura del mundo, adquiere una perspectiva distinta cuando los autores afirman que lo doméstico es tridimensional. Es allí donde las maquetas sirven para entender conceptos

como la profundidad, la perspectiva y el punto de vista, experiencias hápticas fundamentales para entender el mundo de la vida y la habitabilidad.

Cabe señalar que todos estos trabajos fueron presentados por arquitectos e ingenieros, pero para su desarrollo tuvieron que convocar a profesionales de la salud y la psicología, aporte significativo para la nueva perspectiva en que se enfocará la Maestría en Bioclimática de la USB, en concordancia con el enunciado ya declarado del contenido y el método como un todo epistemológico de nuestra Maestría en Bioclimática. El segundo apartado, *Sostenibilidad y vida ciudadana*, se compone de tres capítulos cuyo eje temático es la sostenibilidad y las acciones desarrolladas para intervenir comunidades con problemas identificados sobre habitabilidad, contaminación y convivencia ciudadana. El tratamiento de las canteras urbanas o minería urbana señala la importancia de las interrelaciones que pueden existir entre las actividades que conviven en los territorios y su impacto sobre la salud y el bienestar de las comunidades. El otro capítulo de este apartado, tiene que ver con métodos de aproximación conceptual a la sostenibilidad ambiental de la vivienda, la descripción de escalas macro hasta la micro, reconocimiento de las interacciones entre cada nivel de estudio que permiten contextualizar y priorizar las acciones, metodología poco explorada que amerita ser aplicada a los casos reales del país y que vincula aportes interdisciplinarios. El común denominador tiene que ver con el reconocimiento de la relación entre el territorio y el habitante que lo usa y lo transforma, y se concluye con un artículo que vincula derechos ciudadanos de la mujer en el espacio público, con la seguridad y la iluminación nocturna como acción renovadora de esa problemática, fenómeno similar en las zonas urbanas de muchos lugares del mundo. Demostrar que la diversidad de los ciudadanos y sus diferencias de modo y tiempo de uso del espacio público es una idea contemporánea que expande la experiencia, entre ellas, la de la noche.

El tercer apartado, *Ambiente construido y desempeño técnico*, reúne tres capítulos que desarrollan investigaciones sobre el edificio y procedimientos teóricos para optimizar su desempeño técnico, se resalta allí el interés de los autores por la envolvente del edificio, elemento fundamental en el clima del trópico andino y las condiciones interiores de la habitabilidad; en esa tendencia uno de los capítulos analiza conceptualmente la sostenibilidad desde el ámbito de una vivienda real y que se estructura desde elementos de arquitectura y urbanismo,

medicina, economía y administración, psicología y salud mental, arte y cultura. Se debe señalar el interés de los autores por mediar entre las características físicas de la edificación y el bienestar de las comunidades.

De esta manera se presenta un texto minucioso, riguroso en los contenidos y evaluado por pares académicos que avalan el ejercicio presentado, todos los autores han tenido contacto y participación en la Maestría en Bioclimática y hacen parte de un grupo académico que comparte la inquietud por los temas que atañen a las mejores condiciones de vida y el tratamiento adecuado de los territorios, unidos por el espacio y el tiempo. Se debe señalar, además, que este grupo recibe y comparte la participación de muchas disciplinas, lo que permite lecturas complejas de realidades que también lo son.



# Habitabilidad y ergonomía

# Confort térmico en el ambiente construido: una breve introducción a la teoría analítica y adaptativa

Thermal Confort in the Built Environment: A Brief  
Introduction to the Analytical and Adaptive Theory

*Natalia Giraldo Vásquez*<sup>1</sup>

*Ricardo Forgiarini Rupp*<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Arquitecta, Doctora en Ingeniería Civil, Investigadora, Posgrado en Arquitectura y Urbanismo, Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil. Correo electrónico: ngiraldv@gmail.com.

<sup>2</sup> Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería Civil, Investigador, Centro Internacional del Ambiente Interno y Energía. Universidad Técnica de Dinamarca, Dinamarca. Correo electrónico: ricardorupp@gmail.com.

## Resumen

A nivel mundial, el crecimiento exponencial de los estudios de confort térmico ha sido notorio en los últimos años. La normativa internacional existente presenta algunas divergencias entre ellas, debido, precisamente, a las ambigüedades que resultan de la interpretación de estas. Debido a esto, este capítulo presenta un breve análisis de los diferentes enfoques que pueden ser usados en estudios de confort térmico en el ambiente construido, teniendo como punto de partida las principales normas internacionales existentes: la norma estadounidense *ASHRAE 55*, la norma europea *EN 16798* y la norma internacional *ISO 7730*. El análisis crítico de las normas realizado a lo largo de este texto, hace evidente la necesidad de estudios más completos, en los cuales sea considerada la diversidad térmica y cultural de las personas. En Colombia, aún es necesario el desarrollo de una norma para edificaciones, que busque garantizar condiciones adecuadas de confort térmico con el menor consumo energético posible. En el desarrollo de esta norma debería ser contemplada la riqueza cultural y diversidad climática de las diferentes regiones del país.

**Palabras clave:** Confort térmico, ambiente construido, comportamiento adaptativo, normas confort térmico.

## Propósito

En los últimos años, investigadores alrededor del mundo han sido atraídos por los estudios en confort térmico, posiblemente, debido a los problemas consecuentes del cambio climático. Como evidencia de este interés, el número de publicaciones en el área ha crecido exponencialmente, con un aumento intenso en los últimos diez años (Rupp et al., 2015). Los estudios de confort térmico humano pueden clasificarse según el tipo de entorno (exterior, interior y transitorio) y según el método de investigación: simulación computacional y experimentos sin la partici-

pación de personas; estudios de campo y en cámaras climáticas con la participación de personas y el modelaje fisiológico del cuerpo humano (Rupp et al., 2015). Con relación a los trabajos sin la participación de personas, las investigaciones en confort térmico que involucran personas son considerados de mayor relevancia y valor científico superior (de Dear et al., 2013). En este capítulo, presentamos las diferentes maneras en las cuales el confort térmico puede ser abordado, teniendo como punto de partida las principales normas internacionales existentes.

## Contenido académico: diferentes enfoques en el estudio de confort térmico

En el campo de investigación de confort térmico en ambientes interiores, dos enfoques diferentes están en el centro de las principales discusiones en el entorno académico: el modelo analítico y el modelo adaptativo.

### El modelo analítico

El primer enfoque es el modelo analítico clásico desarrollado por el investigador Poul Ole Fanger de la Universidad Técnica de Dinamarca, en la década de 1970, para espacios artificialmente acondicionados (Fanger, 1970). Tal modelo se basa en el equilibrio térmico del cuerpo humano. El modelo de Fanger tiene como objetivo predecir la sensación térmica promedio de un grupo de personas y el respectivo porcentaje de personas insatisfechas con el entorno térmico. Este modelo usa dos índices: el Voto Medio Estimado o PMV (por su traducción del inglés– *Predicted Mean Vote*) y el Porcentaje Estimado de Insatisfechos o PPD (por su traducción del inglés– *Predicted Percentage Of Dissatisfied*). Según el método propuesto por Fanger, en un grupo siempre existirá un mínimo del 5% de personas insatisfechas con el ambiente térmico, incluso si la sensación térmica promedio entre ellos es igual a cero (neutralidad térmica).

Los índices de PMV y PPD fueron definidos por medio de estudios en cámara climática y la participación de alumnos. El PMV es calculado utilizando dos variables personales: metabolismo (met) y aislamiento de la ropa (clo), y cuatro variables ambientales: temperatura del aire interior (°C), temperatura radiante promedio interior (°C), velocidad del aire interior (m/s) y humedad relativa de aire interno (%). El PPD depende del PMV (Fanger, 1970).

El modelo de Fanger fue usado como referencia para las normas *ISO 7730* de 2005, *ASHRAE 55* de 2017 y *EN 16798* de 2019 —la cual reemplazó la anterior *EN 15251* de 2007—, y continúa siendo ampliamente utilizado en la práctica. En 2002, el modelo se extendió a edificios no acondicionados artificialmente en climas cálidos, mediante el uso de un factor de expectativa que, al ser multiplicado por el PMV, permitía la corrección de este, para que nuevos valores de PVM se acercara a la sensación térmica real de las personas (Fanger y Toftum, 2002).

## El modelo adaptativo

El segundo enfoque usualmente utilizado para evaluar el confort térmico es el modelo adaptativo el cual, según Nicol et al. (2012, p. 8), está basado en el siguiente principio: “si se produce un cambio que genera molestias, las personas reaccionan de una manera que tiende a restaurar su comodidad”<sup>3</sup>. Es decir, las personas son activas y no pasivas (como en el modelo PMV), con relación a su ambiente térmico. En este enfoque, el confort térmico humano se entiende como un sistema autorregulador u homeostático: las personas ajustan su ambiente térmico y su comportamiento (incluida la ropa) para atender sus expectativas. Según lo anterior, para comprender el confort térmico, se debe entender el comportamiento térmico humano (Humphreys et al., 2016).

El modelo adaptativo se basa en estudios de campo en edificios con ventilación natural realizados por Nicol y Humphreys en 1973, 2002 y 2010; Humphreys et al. (2013), Auliciems en 1981, de Dear en 1997, y De Dear y Brager en 1998. A partir de los resultados de estos experimentos de campo, fueron establecidas regresiones lineales en las cuales se relacionan la temperatura interna de operación (intervalos de aceptabilidad térmica) y la temperatura promedio predominante del aire externo, es decir, según este modelo las temperaturas de confort varían según el clima externo. Por ejemplo, temperaturas externas más altas permiten temperaturas internas más altas y viceversa. Este fue un cambio de paradigma en comparación con la teoría de Fanger y otros modelos basados en el equilibrio térmico del cuerpo humano. La relación adaptativa puede considerarse como un modelo de “caja negra: la señal de entrada es el clima y la salida es la temperatura interna de confort. Los procesos internos de esta caja negra dependen de los aspectos constructivos del edificio,

---

<sup>3</sup>Traducción propia.

las variables ambientales y humanas, incluido el equilibrio del calor corporal, entre otros. Sin embargo, para estimar la temperatura de confort no es necesario conocer estos procesos internos (Humphreys et al., 2016).

El modelo adaptativo se incluyó por primera vez en el estándar estadounidense *ASHRAE 55* en 2004, como un método opcional para evaluar el confort térmico en edificios con ventilación natural. El modelo adaptativo utilizado en *ASHRAE 55* se derivó de la base de datos *ASHRAE RP-884* (de Dear et al., 1997), que contiene alrededor de 21.000 respuestas subjetivas de confort térmico, derivadas de estudios de campo en 160 edificios de oficinas ubicados en nueve países en cuatro continentes.

En 2007, el modelo adaptativo también se incluyó en la norma europea *EN 15251* de 2007, la cual se elaboró con base en el proyecto europeo *Smart Controls and Thermal Comfort* (SCATs) (McCartney y Nicol, 2002). La base de datos SCATs se compone de aproximadamente 5.000 respuestas subjetivas, derivadas de estudios de campo en 26 edificios de oficinas, ubicados en cinco países de Europa (McCartney y Nicol, 2002). En 2019, la norma *EN 15251* de 2007 fue reemplazada por las *EN 16798* de 2019, que mantuvo el modelo adaptativo. La guía de holandesa de confort térmico (Boerstra et al., 2015; van der Linden et al., 2006) y la nueva norma china de confort térmico (Li et al., 2014) también incluyeron el modelo de confort adaptativo.

El modelo adaptativo está basado en tres aspectos interrelacionados, los cuales no son considerados por el modelo PMV/PPD en su totalidad, principalmente en estudios realizados en cámaras climáticas: psicológico (expectativa de confort y habituación con relación al clima interno y externo), conductual (incluida la operación ventanas —más habitual— cortinas, ventiladores y puertas) y fisiológicas (aclimatación) (de Dear et al., 1997). El concepto de *alliesthesia*<sup>4</sup> propuesto por Cabanac (1971) y reexaminado por de Dear (2009, 2011) fue usado para defender los aspectos fisiológicos y conductuales del modelo adaptativo (deleite térmico). Cabanac (1971) definió el término *alliesthesia* para describir que “cierto estímulo térmico, indoloro, puede ser percibido como agradable o desagradable dependiendo del estado térmico interno de la persona”<sup>5</sup> (p. 1104).

---

<sup>4</sup>El término *alliesthesia*, traducido como aliestesia, fue encontrado en algunos trabajos en español y portugués, sin embargo, este término no ha sido incluido en el diccionario de la DRAE.

<sup>5</sup>Traducción propia.

Las personas, naturalmente, intentan evitar los estímulos desagradables y buscan estímulos agradables (Cabanac, 1971). De Dear (2011) diferencia el deleite térmico de la neutralidad térmica utilizando el modelo PMV como ejemplo: un PMV igual a cero supuestamente proporcionaría neutralidad térmica, pero no necesariamente deleite térmico pues las personas pueden gustar o no de esta condición. Por ejemplo, Humphreys y Hancock (2007) analizaron los resultados de estudios de campo en auditorios universitarios y hogares y descubrieron que, al preguntar a los usuarios cómo les gustaría sentirse, el 57% de las veces la respuesta fue diferente de “neutral, variando según la sensación térmica experimentada en el momento. Actualmente el concepto de *alliesthesia* no ha sido contemplado en las normas existentes y aún son necesarios más estudios para que pueda ser incluido en los modelos de confort térmico.

## Normativa sobre confort térmico

### La normativa estadounidense ASRAE 55

En la *ASHRAE 55* de 2017 son establecidas las condiciones térmicas para proporcionar confort térmico en los ambientes ocupados y en ambientes ventilados naturalmente. Para el primer caso, dependiendo de las condiciones de velocidad del aire, humedad absoluta, metabolismo y vestimenta, la norma define tres métodos para determinar condiciones ambientales aceptables (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Aplicación de los métodos para determinar las condiciones térmicas aceptables en ambientes ocupados.*

| Velocidad promedio del aire (m/s) | Humedad absoluta (kg/kg) | Metabolismo (Met) | Vestimenta (Clo) | Método para la zona de confort |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|
| <0.2                              | <0.012                   | 1.0 a 1.3         | 0.5 a 1.0        | Método gráfico                 |
| <0.2                              | Todas                    | 1.0 a 2.0         | 0 a 1.5          | Método analítico               |
| >0.2                              | Todas                    | 1.0 a 2.0         | 0 a 1.5          | Método SET                     |

*Nota.* Elaboración propia (adaptado y traducido de *ASHRAE 55*, 2017).

El método gráfico se basa en el modelo PMV y puede usarse para todas las situaciones definidas en la tabla 1: velocidad del aire baja y humedad baja, metabolismo característico de las actividades sedentarias y vestimenta típica

para el verano y el invierno (The American Society of Heating, 2017). El método analítico consiste en calcular el PMV, que puede usarse para bajas velocidades del aire y para cualquier humedad absoluta (tabla 1–1). Si el PMV calculado está en un intervalo de  $\pm 0.5$ , la ASHRAE 55 de 2017<sup>6</sup> considera que las condiciones ambientales son aceptables. Finalmente, el cálculo del PMV debe ajustarse utilizando el modelo SET<sup>7</sup> cuando la velocidad del aire es alta (tabla 1). De forma general, el modelo SET es utilizado para cuantificar el efecto del enfriamiento causado por el movimiento del aire<sup>8</sup>, el cual sirve como base para ajustar el valor del PMV. Para situaciones donde los usuarios tienen control sobre la velocidad del aire local, por ejemplo, por medio de ventiladores, no se requiere un límite de velocidad máxima. El límite máximo de velocidad del aire, en los casos en que los usuarios no tienen control sobre la velocidad del aire local, varía según la temperatura operativa (The American Society of Heating, 2017):

- Para temperaturas inferiores a 23.0°C, el límite de velocidad promedio del aire es de 0.20 m/s;
- Para temperaturas superiores a 25.5°C, la velocidad máxima permitida del aire es de 0.8 m/s;
- Para temperaturas entre 23.0°C y 25.5°C, las velocidades del aire permitidas varían entre 0.2 y 0.8 m/s y el límite exacto debe ser calculado usando las ecuaciones disponibles en la norma.

---

<sup>6</sup>En el método original de Fanger (1970) las condiciones de confort térmico son aquellas en las cuales el valor del PMV varía entre  $-1$  e  $+1$ .

<sup>7</sup>La temperatura efectiva estándar (SET) es definida como la temperatura equivalente del aire de un ambiente isotérmico imaginario con una humedad relativa del aire del 50%, en la que un usuario, que usa ropa estandarizada para la actividad, tiene la misma pérdida total de calor a través de la piel que en el entorno real. El SET se calcula utilizando un modelo termofisiológico del cuerpo humano y permite reducir cualquier combinación de variables, humanas y térmicas del ambiente real, a la temperatura equivalente del aire del entorno imaginario. (ASHRAE 55, 2017)

<sup>8</sup>Un ejemplo dado en el apéndice mencionado de la norma ASHRAE 55 (2017) aclara este punto: una condición ambiental de temperatura promedio del aire y radiante de 28.0°C, velocidad del aire de 1.0 m/s, humedad relativa del 50%, metabolismo de 1.3 met y vestimenta de 0.8 clo es equivalente a una temperatura del aire de 22.5°C con una velocidad del aire de 0.15 m/s, manteniendo las otras variables fijas. Esta condición daría como resultado un PMV, ajustado de acuerdo con la alta velocidad del aire, de +0.63 (fuera del intervalo de confort térmico).

Esta norma también presenta un método opcional para determinar condiciones térmicas aceptables, en espacios con ventilación natural en los cuales los ocupantes tienen control sobre la operación de las aberturas y donde:

- No hay un sistema de acondicionamiento artificial para la refrigeración del aire (se permite ventilación mecánica);
- Si existe un sistema de calefacción, no puede estar en funcionamiento;
- Los ocupantes tienen libertad para alterar su vestimenta en un intervalo de al menos 0.5 a 1.0 clo y realizan actividades sedentarias (metabolismo entre 1.0 y 1.3 met);
- La temperatura media predominante del aire exterior no supera los 33.5°C y no es inferior a 10.0°C.

Las temperaturas operativas internas aceptables se determinan de acuerdo con las condiciones de temperatura externa predominante (modelo adaptativo). En este método ya son considerados los efectos de la incomodidad localizada, la adaptación de la vestimenta de las personas al ambiente acondicionado naturalmente, el metabolismo, la velocidad del aire y la humedad. La norma presenta dos intervalos de temperatura operativa límite, los cuales indican una aceptabilidad térmica para el 90 % y el 80 %: el intervalo del 80 % es obligatorio y el intervalo de 90 % debe ser utilizado cuando se desean altos niveles de confort térmico ([The American Society of Heating, 2017](#)). Los intervalos de variación de la temperatura operativa fueron definidos a partir del modelo adaptativo de [de Dear y Brager \(2002\)](#), en el cual la temperatura operativa varía de  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$  para el intervalo de 90 % de aceptabilidad y de  $\pm 3.5^{\circ}\text{C}$  para el intervalo de 80 % de aceptabilidad (ecuación (1)). Según lo anterior, y de acuerdo con [ASHRAE 55 de 2017](#), la ecuación (2) y ecuación (3) pueden ser usadas para determinar los límites, superior e inferior, de temperaturas admisibles para una aceptabilidad del 80 % —, para una aceptabilidad del 90 % los límites son más estrechos en  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ —.

$$T_{\text{conf}} = 0.31 T_{\text{mpa(Ext)}} + 17.8 \quad (1)$$

$$T_{\text{OS}} = 0.31 T_{\text{mpa(Ext)}} + 21.3 \quad (2)$$

$$T_{oi} = 0.31 T_{mpa(ext)} + 14.3 \quad (3)$$

Donde:

$T_{conf}$  es la temperatura operativa de confort [°C];

$T_{mpa(ext)}$  es la temperatura promedio predominante del aire externo [°C];

$T_{OS}$  es el límite superior aceptable de temperatura operativa [°C];

$T_{oi}$  es el límite inferior aceptable de temperatura operativa [°C].

La temperatura promedio predominante del aire exterior debe calcularse con base en la temperatura promedio diaria del aire exterior de los últimos 7 días como mínimo, y como máximo, 30 días. El promedio de la temperatura predominante del aire exterior se puede calcular como el promedio aritmético de las temperaturas promedio diarias o mediante un método de ponderación, de acuerdo con la ecuación (4) ([The American Society of Heating, 2017](#)).

$$T_{mpa(ext)} = (1 - \alpha) \left[ T_{ext(d-1)} + \alpha T_{ext(d-2)} + \alpha^2 T_{ext(d-3)} + \dots \right] \quad (4)$$

Donde:

$d$  es el día en cuestión para el cual se calculará la  $T_{mpa(ext)}$ ;

$T_{ext(d-1)}$  es la temperatura promedio del día anterior al día en cuestión [°C];  $T_{ext(d-2)}$  es la temperatura promedio del día anterior al día anterior [°C]; y así consecutivamente;

$\alpha$  es una constante que varía entre 0 y 1 y se usa como ponderación de las temperaturas externas de los últimos días [adm]. La norma [ASHRAE 55 de 2017](#), recomienda valores  $\alpha$  entre 0.6 y 0.9. Para climas con poca variabilidad diaria de la temperatura externa, como el clima tropical húmedo, se recomienda el valor de 0.9 para  $\alpha$ . En latitudes medias, un valor más bajo de  $\alpha$  puede ser más apropiado.

Para condiciones con velocidades de aire superiores a 0.3 m/s y temperaturas operativas superiores a 25°C, es posible aumentar la temperatura en los límites superiores (valores basados en el modelo [SET-ASHRAE 55 de 2017](#)):

- 1.2°C para velocidad promedio del aire de 0.6 m/s;
- 1.8°C para velocidad promedio del aire de 0.9 m/s;
- 2.2°C para velocidad promedio del aire de 1.2m/s.

La *ASHRAE 55* de 2017 no establece condiciones aceptables específicas para ambientes con ventilación híbrida, es decir, ambientes con ventilación natural y que también poseen sistemas de refrigeración artificial. Sin embargo, para los sistemas híbridos que tienen un sistema mecánico de enfriamiento de aire, el modelo adaptativo no podría ser utilizado. Por lo tanto, el método basado en el modelo PMV debe ser usado de acuerdo con la interpretación de la norma.

### La norma europea EN 16798

La *EN 16798* de 2019, es la norma europea que direcciona las evaluaciones de confort ambiental (térmico, lumínico y acústico) y la calidad del aire en los edificios. Fue lanzada en 2019, reemplazando la *EN 15251* de 2007. En el área de confort térmico, esta norma es el equivalente europeo de la *ASHRAE 55*. A diferencia de la norma estadounidense, la *EN 16798* de 2019 describe tres categorías aceptables de condiciones térmicas internas, basadas en los intervalos de variación del PMV de la *ISO 7730* de 2005. En ella son definidos dos métodos de evaluación: uno para ambientes con calefacción y/o refrigeración mecánica y el otro para ambientes con ventilación natural (*EN 16798*, 2019). Los índices PMV/PPD, calculados con base en la *ISO 7730*, deben usarse para evaluar edificios durante la operación de sistemas de calefacción y/o enfriamiento del aire. El modelo adaptativo, desarrollado por *Nicol y Humphreys (2010)*, determina las condiciones térmicas internas aceptables durante los períodos en los que es usada la ventilación natural. Este modelo también puede ser usado en ambientes que poseen sistemas de calefacción y/o refrigeración, pero estos no deben estar en funcionamiento. De esta manera, los ambientes híbridos pueden ser evaluados con ambos métodos, dependiendo de la condición con la que el espacio es usado predominantemente en una determinada época del año (*Comité Europeo de Normalización, 2019*).

El modelo adaptativo utilizado por la *EN 16798* de 2019 se presenta en la Ecuación 5. Para el cálculo de la temperatura promedio predominante del aire exterior (ecuación (4)), la *EN 16798* de 2019 recomienda el valor  $\alpha$  de 0.8.

Las tres categorías recomendadas están limitadas por una variación de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  (categoría I),  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  (categoría II) y  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  (Categoría III), con respecto al resultado de la ecuación (5). Los límites superiores son válidos para temperaturas promedio predominante del aire exterior entre  $10^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$  y los límites inferiores para temperaturas entre  $15^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ . Para condiciones de temperaturas operativas internas superiores a  $25^{\circ}\text{C}$ , la *EN 16798* de 2019 permite el aumento de las temperaturas límite superiores en función de la velocidad del aire, según el criterio definido en la *ISO 7730* de 2005:  $+1^{\circ}\text{C}$  con una velocidad del aire de aproximadamente 0.3 m/s,  $+2^{\circ}\text{C}$  con una velocidad del aire de aproximadamente 0.6 m/s y  $+3^{\circ}\text{C}$  con una velocidad del aire de 1.0 m/s.

$$T_{\text{conf}} = 0.33T_{\text{mpa( ext)}} + 18.8 \quad (5)$$

Se podría decir que la ecuación del modelo adaptativo de la *EN 16798*–2019 da como resultado temperaturas operativas internas de confort más altas de  $1.2^{\circ}\text{C}$  (a  $10^{\circ}\text{C}$  de  $T_{\text{mpa( ext)}}$ ) y  $1.6^{\circ}\text{C}$  (a  $30^{\circ}\text{C}$ ) de  $T_{\text{mpa( ext)}}$  que el modelo adaptativo de la *ASHRAE 55* de 2017. Esto indica que, al ser comparada con la población del banco de datos mundial de la *ASHRAE 55*, la población europea sería menos tolerante a las bajas temperaturas y más tolerante a las altas temperaturas. Sin embargo, como se destaca en la *EN 16798*, los límites de temperatura interna, basados en temperaturas externas más altas de  $25^{\circ}\text{C}$ , fueron determinados considerando un número reducido de datos experimentales.

### La norma internacional *ISO 730*

La *ISO 7730* de 2005 establece, con base en el modelo PMV/PDD, las condiciones aceptables para ambientes térmicos moderados, detallando el cálculo de estos índices. La norma clasifica los ambientes en tres clases según la variabilidad de las condiciones térmicas internas: I (PMV  $\pm 0.2$ ), II (PMV  $\pm 0.5$ ) y III (PMV  $\pm 0.7$ ). La clase I brindaría, supuestamente, un mayor porcentaje de confort térmico a los usuarios, consumiendo más de energía que las demás clases. Sin embargo en la práctica, un mayor control sobre la variación de las condiciones internas —espacios de clase I— no garantiza una mayor aceptabilidad térmica, en comparación con los espacios con mayor variabilidad térmica —espacios de clase II y III— (Arens et al., 2010). Adicionalmente, a través de análisis de sensibilidad, la categorización de las tres clases de ambientes se consideró alea-

toría, ya que los intervalos de cada clase de la *ISO 7730* son similares a las incertidumbres en las mediciones de las variables del PMV (D'ambrosio et al., 2011). También vale la pena recordar que el método original de Fanger (1970) considera las condiciones de confort térmico como aquellas en las que el PMV varía entre  $-1$  y  $+1$ . Por lo tanto, la *ISO 7730* de 2005 debe actualizarse —la penúltima actualización fue en 1994—, teniendo en cuenta intervalos más amplios de temperaturas internas, con el fin de reducir el alto consumo en los sistemas de aire acondicionado y adaptarse a las necesidades de un mundo en crisis ambiental<sup>9</sup>. Otro factor para tener en cuenta en esta norma es el aumento del límite de velocidad del aire, principalmente para la neutralidad térmica y las condiciones más cálidas, como ocurrió en el 2009 con la *ASHRAE 55*, a través de la inclusión del modelo SET (Arens et al., 2009; Zhang et al., 2007). Las bajas velocidades del aire ( $<0.2$  m/s) percibidas por usuarios de oficinas, ubicadas principalmente en América del Norte —datos de la base de datos *Center for the Built Environment, at UC-Berkeley*—, generaron insatisfacción térmica en los ocupantes, quienes preferirían un mayor movimiento de aire, incluso en invierno (Zhang et al., 2007).

Datos de estudios de campo realizados durante el verano en oficinas en Japón por Indraganti et al. (2013) y Tanabe et al. (2013) y en el Reino Unido, Lakeridou et al. (2012), promoviendo el ahorro de energía al aumentar la temperatura de refrigeración —temperatura de *setpoint* del aire acondicionado de  $28^{\circ}\text{C}$  en Japón y  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$  en el Reino Unido—, mostró que los ocupantes aceptaron temperaturas más altas y aprovecharon las oportunidades de adaptación para mejorar el ambiente térmico (Indraganti et al., 2013; Tanabe et al., 2013). Sin embargo, los resultados del estudio japonés pueden limitarse al caso de la población japonesa, la cual enfrentó una crisis de suministro de energía posterior al tsunami de 2011 (Indraganti et al., 2013). Recientemente, otro estudio realizado en Japón analizó los datos de estudios de campo en oficinas, en los cuales también fueron incorporadas campañas que promovían el ahorro de energía. Los resultados de dicho análisis indicaron que aquellas personas que apoyaron los mecanismos para reducir el consumo energético expresaron mayor satisfacción con el ambiente térmico (Tsushima et al., 2015).

---

<sup>9</sup>La *ISO 7730* (2005) brevemente menciona que, en entornos con ventilación natural, donde los ocupantes operan las aberturas, se puede considerar un intervalo más amplio de variación en el PMV. Sin embargo, no especifica límites aceptables.

## Conclusiones

En este capítulo presentamos los dos principales enfoques —el modelo analítico y el modelo adaptativo— y las normas más actuales para el estudio y evaluación del confort térmico.

El cambio de paradigma causado por el enfoque adaptativo, con relación al modelo analítico, sacó a la luz los aspectos sociales, culturales y de comportamiento humano, características interdependientes del lugar (además del clima). En este modelo, las personas comenzaron a ser vistas como sujetos activos, quienes actúan en busca del confort térmico en el ambiente que habitan mediante la adaptación de la vestimenta o por el uso de controles disponibles en las edificaciones (operación de ventanas, uso de acondicionamiento artificial o ventilación mecánica).

Algunos estudios en el área de la salud indican que permitir intervalos más amplios de temperaturas internas, así como condiciones de temperatura variables, puede tener efectos benignos para la salud (van Marken Lichtenbelt y Kingma, 2013), por otro lado, la exposición estacional al frío puede causar una reducción en la masa corporal, lo que podría ayudar a combatir la obesidad (Johnson et al., 2011; Mavrogianni et al., 2011; van Marken Lichtenbelt et al., 2014). El impacto de la homogeneización térmica en el ambiente construido va mucho más allá, como lo afirma Healy (2008):

Las variadas sensibilidades térmicas de diversas culturas, a menudo profundamente culturales y simbólicas, han sido y continúan siendo cada vez más, sometidas por la trayectoria innovadora e inventiva facilitada por la ciencia: la monotonía térmica. Esto no es simplemente una cuestión de alcanzar el “confort térmico óptimo sino también, y particularmente, a través del efecto de las normas sobre la forma y el contenido del ambiente construido, una cuestión de una diversidad reducida en prácticas y comportamientos influenciados térmicamente, gran parte de los cuales son de carácter altamente cultural.<sup>10</sup> (p. 321)

Quizás, por estas razones, alrededor del mundo han sido propuestos varios modelos de confort térmico para contextos climáticos y culturales específicos. El campo de investigación en confort térmico está más vivo que nunca y los

---

<sup>10</sup>Traducción propia.

esfuerzos están dirigidos hacia la mejor comprensión de los diversos aspectos que influyen en el bienestar de las personas, así como la interdependencia de diferentes dominios —por ejemplo, térmicos y lumínicos— que influyen en la sensación de confort ambiental.

En Colombia, aún es necesario el desarrollo de una norma para edificaciones que busque garantizar condiciones adecuadas de confort térmico, con el menor consumo energético posible. En el desarrollo de esta norma debería ser contemplada la riqueza cultural y diversidad climática de las diferentes regiones del país.

## Referencias

- Arens, E., Humphreys, M. A., de Dear, R., y Zhang, H. (2010). Are 'class A' temperature requirements realistic or desirable? *Building and Environment*, 45(1), 4-10. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.03.014>.
- Arens, E., Turner, S., Zhang, H., y Paliaga, G. (2009). Moving air for comfort. *ASHRAE Journal*, 51(5), 18-29. <https://escholarship.org/uc/item/6d94f90b>.
- Auliciems, A. (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception. *International Journal of Biometeorology*, 25(2), 109-122. <https://doi.org/10.1007/BF02184458>.
- Boerstra, A., van Hoof, J., y van Weele, A. (2015). A new hybrid thermal comfort guideline for the Netherlands: background and development. *Architectural Science Review*, 58(1), 24-34.
- Cabanac, M. (1971). Physiological Role of Pleasure. *Science*, 173(September), 1103-1107. [10.1126/science.173.4002.1103](https://doi.org/10.1126/science.173.4002.1103).
- Comité Europeo de Normalización (CEN), Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) y Telecomunicaciones Europeas Instituto de Normas (ETSI). (2019). *EN 16798-1:2019 Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/b4f68755-2204-4796-854a-56643dfcfe89/en-16798-1-2019>.
- D'Ambrosio Alfano, F., Palella, B., y Riccio, G. (2011). The role of measurement accuracy on the thermal environment assessment by means of PMV index. *Building and Environment*, 46(7), 1361-1369. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.001>.
- de Dear, R. (2009). The theory of thermal comfort in naturally ventilated indoor environments - 'The pleasure principle'. *International Journal of Ventilation*, 8(3), 243-250. <https://doi.org/10.1080/14733315.2009.11683849>.

- de Dear, R. (2011). Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. *Building Research & Information*, 39(2), 108-117. <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.552269>.
- de Dear, R., Brager, G., y Cooper, D. (1997). *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. Final Report ASHRAE RP-884*. Macquarie Research, Center for Environmental Design Research. [https://www.researchgate.net/publication/269097185\\_Developing\\_an\\_Adaptive\\_Model\\_of\\_Thermal\\_Comfort\\_and\\_Preference\\_-\\_Final\\_Report\\_on\\_RP-884](https://www.researchgate.net/publication/269097185_Developing_an_Adaptive_Model_of_Thermal_Comfort_and_Preference_-_Final_Report_on_RP-884).
- de Dear, R. J., Akimoto, T., Arens, E. A., Brager, G., Candido, C., Cheong, K. W. D., Li, B., Nishihara, N., Sekhar, S. C., Tanabe, S., Toftum, J., Zhang, H., y Zhu, Y. (2013). Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air*, 23(6), 442-461. <https://doi.org/10.1111/ina.12046>.
- de Dear, R. J., y Brager, G. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. *ASHRAE Transactions*, 104, 145-167. <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6#author>.
- de Dear, R., y Brager, G. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34(6), 549-561. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1).
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press.
- Fanger, P. O., y 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).
- Healy, S. (2008). Air-conditioning and the 'homogenization' of people and built environments. *Building Research & Information*, 36(4), 312-322. <https://doi.org/10.1080/09613210802076351>.
- Humphreys, M., Nicol, F., y Roaf, S. (2016). *Adaptive thermal comfort: foundations and analysis*. Routledge.
- Humphreys, M. A., y Hancock, M. (2007). Do people like to feel 'neutral'? *Energy and Buildings*, 39(7), 867-874. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.014>.
- Humphreys, M. A., Rijal, H. B., y Nicol, J. F. (2013). Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended

- database. *Building and Environment*, 63, 40-55.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.01.024>.
- Indraganti, M., Ooka, R., y Rijal, H. B. (2013). Thermal comfort in offices in summer: Findings from a field study under the 'setsuden' conditions in Tokyo, Japan. *Building and Environment*, 61, 114-132.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.12.008>.
- International Standard Organization. (2005). *ISO 7730 Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:7730:ed-3:v1:en>.
- Johnson, F., Mavrogianni, A., Ucci, M., Vidal-Puig, A., y Wardle, J. (2011). Could increased time spent in a thermal comfort zone contribute to population increases in obesity? *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 12(7), 543-551.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2010.00851.x>.
- Lakeridou, M., Ucci, M., Marmot, A., y Ridley, I. (2012). The potential of increasing cooling set-points in air-conditioned offices in the UK. *Applied Energy*, 94, 338-348. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.064>.
- Li, B., Yao, R., Wang, Q., y Pan, Y. (2014). An introduction to the Chinese Evaluation Standard for the indoor thermal environment. *Energy and Buildings*, 82, 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.032>.
- Mavrogianni, A., Johnson, F., Ucci, M., Marmot, A., Wardle, J., Oreszczyn, T., y Summerfield, A. (2011). Historic Variations in Winter Indoor Domestic Temperatures and Potential Implications for Body Weight Gain. *Indoor and Built Environment*, 22(2), 360-375.  
<https://doi.org/10.1177/1420326X11425966>.
- McCartney, K. J., y Nicol, J. F. (2002). Developing an adaptive control algorithm for Europe. *Energy and Buildings*, 34(6), 623-635.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00013-0).
- Nicol, F., y Humphreys, M. (1973). Thermal comfort as part of a self-regulating system. *Building Research and Practice*, 1(3), 174-179.  
<https://doi.org/10.1080/09613217308550237>.
- Nicol, F., y Humphreys, M. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563-572.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3).

- Nicol, F., y Humphreys, M. (2010). Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. *Building and Environment*, 45(1), 11-17.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.12.013>.
- Nicol, F., Humphreys, M., y Roaf, S. (2012). *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. Routledge.
- Rupp, R. F., Giraldo, V. N., y Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178-205.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>.
- Tanabe, S., Iwahashi, Y., Tsushima, S., y Nishihara, N. (2013). Thermal comfort and productivity in offices under mandatory electricity savings after the Great East Japan earthquake. *Architectural Science Review*, 56(1), 4-13.  
<https://doi.org/10.1080/00038628.2012.744296>.
- The American Society of Heating. (2017). *ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Autor.
- Tsushima, S., Tanabe, S., y Utsumi, K. (2015). Workers' awareness and indoor environmental quality in electricity-saving offices. *Building and Environment*, 88, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.022>.
- van der Linden, A. C., Boerstra, A. C., Raue, A. K., Kurvers, S. R., y De Dear, R. J. (2006). Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands. *Energy and Buildings*, 38(1), 8-17.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.008>.
- van Marken Lichtenbelt, W., Kingma, B., Van der Lans, A., y Schellen, L. (2014). Cold exposure—an approach to increasing energy expenditure in humans. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 25(4), 165-167.  
<https://doi.org/10.1016/j.tem.2014.01.001>.
- van Marken Lichtenbelt, W. D., y Kingma, B. R. (2013). Building and occupant energetics: a physiological hypothesis. *Architectural Science Review*, 56(1), 48-53.  
<https://doi.org/10.1080/00038628.2012.759377>.
- Zhang, H., Arens, E., Fard, S. A., Huizenga, C., Paliaga, G., Brager, G., y Zagreus, L. (2007). Air movement preferences observed in office buildings. *International Journal of Biometeorology*, 51(5), 349-360.  
<https://doi.org/10.1007/s00484-006-0079-y>.

# Confort térmico en el ambiente construido: factores humanos y ambientales

Thermal Comfort in the Built Environment:  
Environmental and Human Factors

*Ricardo Forgiarini Rupp*<sup>11</sup>

*Natalia Giraldo Vásquez*<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería Civil, Investigador, Centro Internacional del Ambiente Interno y Energía. Universidad Técnica de Dinamarca, Dinamarca. Correo electrónico: ricardorupp@gmail.com.

<sup>12</sup> Arquitecta, Doctora en Ingeniería Civil, Investigadora, posgrado en Arquitectura y Urbanismo, Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil. Correo electrónico: ngiraldv@gmail.com.

## Resumen

El confort térmico humano no es posible de ser comprendido siempre, y completamente, a través del clásico modelo analítico de Fanger (Voto Medio Estimado o PMV), que considera dos variables humanas (metabolismo y vestimenta) y cuatro variables ambientales (temperatura del aire, temperatura radiante promedio, humedad y velocidad del aire). Otros diversos factores pueden influir en el confort térmico, como la edad, el sexo, el peso, el historial térmico y las preferencias individuales. Este capítulo presenta una revisión de las diferentes variables que afectan el confort térmico en el ambiente construido. Las diferencias en la percepción térmica, encontradas por varios autores en sus estudios en cámaras climáticas y en ambientes reales, demuestran el efecto del género, peso e historial térmico, por ejemplo, en las evaluaciones subjetivas. Investigadores, anteriormente preocupados por garantizar condiciones térmicas cómodas para la mayoría de las personas en un ambiente, están actualmente interesados en estudiar las formas de brindar confort térmico para todos, lo que ha sido demostrado por el creciente desarrollo de sistemas personalizados de acondicionamiento ambiental.

**Palabras clave:** Confort térmico, ambiente construido, factores ambientales, factores humanos.

## Propósito

Desde los estudios realizados por Fanger en la década de los 70s, las cámaras climáticas han sido utilizadas para investigar los dos factores humanos (el metabolismo y la vestimenta) y los cuatro factores ambientales (la temperatura del aire, la temperatura radiante promedio, la velocidad del aire y la humedad relativa) que más influyen en el confort térmico de las personas. Sin embargo, en situaciones en entornos reales, el confort térmico no es únicamente explicado a través de estas seis variables (Rupp et al., 2015). Otros factores como los aspectos culturales y de comportamiento, la edad, el género y el peso de las per-

sonas, la disposición del espacio, la posibilidad de controlar el entorno térmico (posibilidad de abrir ventanas, por ejemplo), las condiciones térmicas a las que las personas estuvieron expuestas previamente —historial térmico— y las preferencias individuales también influyen en la sensación de confort térmico (Rupp et al., 2015). Este capítulo presenta una revisión de la literatura sobre diferentes variables que afectan el confort térmico en el ambiente construido.

## Contenido académico

La influencia del género, el peso y la edad en la sensación de confort térmico ha sido estudiada a través de:

a) Estudios en cámaras climáticas, principalmente en el área de fisiología humana en los cuales se caracteriza en detalle el cuerpo humano: peso, altura, circunferencias, área de la piel, porcentaje grasa corporal, etc., midiendo la temperatura de la piel y/o la temperatura corporal, a veces empleando técnicas invasivas como muestras de sangre, y preguntando a los participantes sobre su percepción térmica en el momento del experimento; análisis de experimentos de campo o en una cámara climática, comparando las respuestas subjetivas de diferentes subgrupos, por ejemplo: masculino × femenino, obeso × delgado, joven × anciano.

En 1970, Fanger afirmó que las temperaturas de neutralidad térmica de un gran grupo de personas son independientes de la edad, el sexo, el peso, el ciclo menstrual, la hora del día y la raza. A pesar de esto, las mujeres son más sensibles que los hombres a las variaciones de temperatura, prefiriendo también temperaturas más altas (Fanger, 1970).

En el campo de la fisiología, el concepto de zona individual de neutralidad térmica TNZ (por su traducción del inglés: *Thermal Neutral Zone*) ha sido utilizado para explicar las diferencias entre género, edad y peso (Kingma et al., 2012). Van Marken Lichtenbelt y Kingma (2013) aclararon que la TNZ no se define por la sensación térmica de las personas, sino por parámetros fisiológicos como la producción de sudor y el metabolismo. La zona individual de neutralidad térmica, definida como el intervalo de temperatura ambiental en el que se alcanza la regulación de la temperatura corporal a través de la pérdida de calor sensible (seco), que no implica cambios en el metabolismo o pérdidas de calor por evaporación, es afectada por factores como el metabolismo, la edad, el género,

entre otros, y varía entre condiciones e individuos (Kingma et al., 2012). Por ejemplo, en condiciones en las cuales las temperaturas son inferiores al límite inferior de la TNZ, el equilibrio térmico es obtenido mediante la producción de calor por metabolismo (termogénesis, vasoconstricción y contracción muscular). A temperaturas superiores al límite superior de la TNZ, el equilibrio térmico es alcanzado al aumentar la evaporación (sudor), la vasodilatación y el aumento del flujo sanguíneo (Kingma et al., 2012).

La TNZ está basada en el metabolismo basal y la Zona de Confort Térmico (TCZ) es el intervalo de temperatura ambiente en el que las personas sienten confort térmico, por lo cual, la TCZ es más amplia que la TNZ (Schellen et al., 2014; Van Marken Lichtenbelt et al., 2014). Según Schellen et al. (2014), en la actualidad hay datos de estudios con humanos en condiciones de temperatura por debajo del límite inferior de la TNZ; mientras que, para el límite superior de TNZ prácticamente no hay datos y la relación es más compleja, debido a la interacción entre el aumento de la tasa metabólica y la sudoración.

En general, la TNZ no es conocida por completo. Estudios indican que la TNZ es más estrecha en ancianos que en adultos jóvenes —ancianos tendrían mayores dificultades para mantener el equilibrio térmico— (Kingma et al., 2012). En condiciones constantes y transitorias de temperatura, proporcionadas en una cámara climática, los ancianos —entre 67 y 73 años— expresaron sensaciones térmicas más frías, en promedio, 0.5 en la escala séptima de sensación térmica y, en consecuencia, se sintieron menos cómodos que los adultos jóvenes —entre 20 y 25 años— (Schellen et al., 2012). Los ancianos también tuvieron mayor vasoconstricción que los adultos jóvenes y prefirieron temperaturas mayores (Schellen et al., 2010).

En personas obesas, el límite inferior de la TNZ indica temperaturas más bajas; dichas personas podrían necesitar temperaturas más bajas para estar en confort térmico debido al mayor aislamiento de los tejidos el cual es causado, a su vez, por la mayor adiposidad entre los músculos y la piel (Kingma et al., 2012).

Para las mujeres, las temperaturas de la TNZ son más elevadas que para los hombres como lo afirma Kingma et al (2012). Las diferencias en el confort térmico entre hombres y mujeres se han atribuido a factores fisiológicos, como las características corporales y el sistema endocrino (Kaciuba-Uscilko y Grucza, 2001; Kingma et al., 2012). En Holanda, los estudios en cámara climática

realizados por Kingma y Van Marken Lichtenbelt (2015), identificaron que las diferencias metabólicas ( $W/m^2$ ) de las participantes (una población homogénea de 16 mujeres jóvenes con características físicas similares), con relación a los valores establecidos en la *ASHRAE 55* —basados en hombres— fueron entre -20% y -32%, según la actividad física. De acuerdo con lo anterior, si el índice Voto Medio Estimado o PMV es usado para acondicionar un ambiente ocupado por hombres y mujeres, la gran insatisfacción térmica reportada por las mujeres podría ser explicada. Los autores sugieren recalibrar el modelo PMV con las tasas metabólicas de cada subpoblación (Kingma y van Marken Lichtenbelt, 2015).

Las discrepancias en los valores de la tasa metabólica también se observaron en otro estudio en cámaras climáticas en Suiza y Australia, con una población heterogénea (Byrne et al., 2005). Sin embargo, las mayores diferencias en la tasa metabólica fueron con relación al peso de los participantes, evaluado por el índice de masa corporal: las personas con sobrepeso tuvieron tasas metabólicas 30% más bajas que las personas con peso normal. Las tasas metabólicas difirieron aproximadamente en 5% entre los géneros, y al comparar las edades, las mujeres y las personas mayores tuvieron un metabolismo más bajo (Byrne et al., 2005).

En China y Holanda, las diferencias causadas por el género de los participantes fueron evaluadas en cámaras climáticas (Chow et al., 2010; Lan et al., 2008; Schellen et al., 2012; Schellen et al., 2013). Las mujeres expresaron una mayor sensibilidad a las temperaturas —especialmente las más bajas— y menos sensibilidad a la humedad que los hombres (Chow et al., 2010; Lan et al., 2008), además de sentirse más incómodas e insatisfechas que los hombres (Schellen et al., 2012); adicionalmente, las mujeres tuvieron menor temperatura de la piel (Lan et al., 2008; Schellen et al., 2012), lo cual podría explicar su preferencia por condiciones ambientales ligeramente más calientes que los hombres, quienes prefirieron condiciones más frías. Schellen et al. (2012) también concluyeron que la temperatura de *setpoint* del aire acondicionado debería elevarse en 1.2°C para aumentar la satisfacción térmica femenina, como fue registrado por (Choi, et al., 2012; Choi, et al., 2010) en edificios de oficinas reales.

En su revisión bibliográfica, Karjalainen (2012) llegó a la conclusión de que, en general, bajo las mismas condiciones ambientales las mujeres se sintieron más insatisfechas con el ambiente térmico que los hombres; las mujeres también prefieren temperaturas más elevadas y fueron más sensibles a las desviaciones

de la condición de neutralidad térmica, especialmente con relación al frío —condición en la que expresaron una insatisfacción aún mayor que los hombres—. A pesar de estas disparidades, el autor no identificó diferencias significativas entre los géneros con respecto a la temperatura de neutralidad térmica.

Los estudios en cámara climática de [Byrne et al. \(2005\)](#), y [Kingma y Van Marken Lichtenbelt \(2015\)](#), se basaron en un número relativamente pequeño de observaciones. El reanálisis de las investigaciones de campo ya realizadas, desde la perspectiva de las preferencias individuales, es necesario para convencer a profesionales del sector de la construcción de cambiar sus prácticas, como por ejemplo, incluir el acondicionamiento personalizado en sus proyectos ([van Hoof, 2015](#)).

Las diferencias entre niñas y niños durante diferentes estaciones del año, fue investigada por medio de un estudio de campo en una escuela en Chipre ([Katafygiotou y Serghides, 2014](#)). Durante el invierno, las niñas expresaron una mayor sensibilidad a las bajas temperaturas que los niños. Por otro lado, durante el verano, los niños fueron más sensibles a las altas temperaturas y se sintieron más cálidos que las niñas ([Katafygiotou y Serghides, 2014](#)). Los autores atribuyeron tales diferencias en la sensación térmica al metabolismo y temperatura de la piel característicos de cada género. Por otro lado, dos estudios de campo realizados en veinte edificios federales en Estados Unidos fueron ejecutados por un período de tres años ([Choi et al., 2010](#)) y siete años ([Choi et al., 2012](#)), utilizando evaluaciones postocupacionales. En general, el 50% de los participantes —especialmente las mujeres— expresaron insatisfacción térmica ([Choi et al., 2012](#)). Los autores concluyeron, como en otros estudios, que las mujeres se sintieron más insatisfechas con el ambiente térmico que los hombres, especialmente durante el verano. También en el verano, los ocupantes menores de 40 años expresaron mayor satisfacción con el ambiente térmico que los usuarios mayores de 40 años ([Choi et al., 2010](#)). Con base en esto, los autores recomendaron, durante el verano: (a) aumentar la temperatura de *setpoint* del aire acondicionado en 2°C para aumentar la satisfacción térmica femenina, y (b) disminuir la vestimenta masculina a 0.57 clo, —equivalente a pantalones ligeros y camisas de manga corta—, para compensar el aumento de temperatura ([Choi et al., 2012](#)).

Las respuestas de 100 personas —≈ 4.000 respuestas subjetivas—, habitantes de apartamentos naturalmente ventilados en India, fueron analizadas por grupo de edad (personas menores de 40 años y personas mayores de 40 años);

en el grupo de mayor edad, la sensación térmica tendió a la neutralidad y los ambientes térmicos fueron considerados más aceptables, lo que demostró una mayor tolerancia al ambiente térmico que en el grupo de personas más jóvenes (Indraganti y Rao, 2010).

En el clima subtropical brasilero, fue realizada la comparación entre género, edad y peso de usuarios en oficinas con ventilación híbrida y oficinas con aire acondicionado — $\approx$  7.500 respuestas subjetivas— (Maykot et al., 2018a; Maykot et al., 2018b; Rupp et al., 2018). En condiciones térmicas similares, la sensación, preferencia y el confort térmico tuvieron diferencias significativas debido al género: la temperatura de confort térmico fue de 24°C para las mujeres y de 23.2°C para los hombres (Maykot et al., 2018a; Maykot et al., 2018b). En estos estudios, los resultados indicaron que los hombres y personas con sobrepeso fueron más propensos a manifestar molestias térmicas debido al calor. Por otro lado, las mujeres y participantes con peso normal o bajo, fueron más propensos a sentir molestias térmicas debido al frío (Rupp et al., 2018).

Las diferencias individuales de un grupo de jóvenes japonesas, fue estudiada por medio de dos procedimientos experimentales llevados a cabo en cámara climática (Yasuoka et al., 2012). En el primer experimento, las participantes ajustaron la temperatura según sus preferencias y los resultados evidenciaron la división de las jóvenes en dos grupos: el grupo *H* prefirió temperaturas del aire más altas que el grupo *M*. En el segundo experimento, las participantes fueron sometidas a variaciones graduales en la temperatura del aire (entre 32°C y 25°C); en este caso, las participantes del grupo *H* reportaron con mayor frecuencia sensaciones térmicas con tendencia al frío (Yasuoka et al., 2012). La variación gradual de las temperaturas también fue usada por Jacquot et al. (2014), para clasificar a las personas según las temperaturas a las cuales fue reportada la neutralidad térmica, lo cual generó mejor correlación entre los parámetros fisiológicos y la sensación térmica. En este estudio, realizado también en cámara climática y con mujeres jóvenes, las participantes fueron agrupadas en cuatro categorías: quienes prefirieron mayores variaciones de temperatura, quienes prefirieron menores variaciones de temperatura, quienes prefirieron temperaturas más altas y quienes prefirieron temperaturas más bajas. Yasuoka et al. (2012) y Jacquot et al. (2014) atribuyeron las diferencias individuales observadas a la aclimatación de los participantes en relación con las condiciones del estudio.

## Historial térmico

El historial térmico es otro parámetro que ha sido estudiado por diversos investigadores en todo el mundo.

En Seúl (Corea) y Yokohama (Japón), el historial térmico de cincuenta y dos estudiantes universitarios fue investigado utilizando un medidor de temperatura portátil. El dispositivo estuvo conectado al cuerpo de los participantes por un período de 24 horas durante la realización de las actividades cotidianas en la universidad, en el hogar y en otros espacios interiores y exteriores (Chun et al., 2008). Al día siguiente, los estudiantes fueron expuestos de forma individual, en una cámara climática, a 28°C de temperatura del aire y 50% de humedad relativa, vistiendo 0.5 clo —camisa y pantalón—. Los estudiantes que estuvieron expuestos a temperaturas más altas (>28°C) antes de ingresar a la cámara climática, reportaron sensaciones térmicas más frías que aquellos participantes expuestos a temperaturas más bajas (<28°C). Los estudiantes que utilizaron aire acondicionado en sus hogares expresaron sensaciones térmicas más cálidas, que aquellos participantes que no usaron aire acondicionado antes del experimento (Chun et al., 2008).

En Maceió (Brasil), las respuestas de estudiantes universitarios en aulas con ventilación natural fueron analizadas en dos categorías: participantes que estuvieron previamente expuestos y participantes que no fueron previamente expuestos a ambientes con aire acondicionado (Cândido et al., 2010). Los resultados demostraron la importancia del historial térmico en la evaluación de la preferencia térmica: las personas que no estuvieron expuestas al aire acondicionado, prefirieron mantener las condiciones térmicas de las aulas en una mayor proporción que aquellos usuarios previamente expuestos al aire acondicionado, quienes prefirieron en mayor proporción, estar en condiciones más frías (Cândido et al., 2010).

En Florianópolis (Brasil), los usuarios acostumbrados a ambientes con aire acondicionado tienen más probabilidades de expresar molestias térmicas por calor, que aquellos usuarios que frecuentan ambientes con ventilación natural (Rupp et al., 2018).

Yu et al. (2012) investigaron la influencia que tiene el tiempo de permanencia tanto en ambientes artificialmente acondicionados como en ambientes con ventilación natural, sobre la aclimatación fisiológica de las personas; este estudio, realizado en Pequín (China) durante el verano, contó con la participación de veinte jóvenes, de los cuales diez de ellos usaban aire acondicionado por más de 10 horas diarias y los demás eran usuarios de ambientes con ventilación natural —usando aire acondicionado menos de 2 horas al día—. Los resultados de la exposición de cada participante a dos condiciones de temperatura (26°C y 36°C, en una cámara climática) mostraron una mayor adaptación fisiológica de las personas acostumbradas a la ventilación natural, especialmente durante la condición más caliente (Yu et al., 2012).

En otro estudio realizado durante el invierno, en Pequín donde el uso de calefacción en las edificaciones es común, y en Shangai, donde la calefacción no es comúnmente usada, cincuenta y siete jóvenes fueron expuestos a las mismas condiciones de temperatura, la cual varió entre 12°C y 20°C en una cámara climática. Los resultados indicaron que las personas acostumbradas a temperaturas interiores más altas (Pequín) sintieron más frío que los participantes acostumbrados a temperaturas interiores más bajas (Shanghai): los participantes en Pequín quienes, a pesar de tener un invierno más riguroso, tuvieron mayores temperaturas internas debido al recurrente uso de la calefacción (Yu et al., 2013).

La expectativa térmica fue estudiada por Luo et al. (2016), durante el invierno chino, a través de un cuestionario de sensación y aceptabilidad térmica y confort térmico. Los participantes, mil ciento cuarenta personas en total, respondieron las preguntas con relación a las condiciones de su ciudad natal y del lugar de residencia actual. Los participantes fueron separados en cuatro grupos, en función de su historial térmico a largo plazo: 1) personas que habían vivido en el norte de China durante toda su vida, donde los ambientes tienen calefacción; 2) personas que habían vivido en el sur de China, donde la calefacción interna no es común; 3) personas que crecieron en el sur de China pero que se mudaron a la región norte, teniendo contacto con la calefacción en los edificios; 4) personas que nacieron en el norte de China y luego se mudaron al sur de China, sin calefacción en edificios.

Las personas que han vivido durante toda su vida en las regiones del norte o del sur del país tuvieron niveles similares de confort térmico, a pesar de estar

expuestos a diferentes condiciones térmicas. Las personas que emigraron del sur al norte, y se acostumbraron con las mejores condiciones térmicas ofrecidas por el uso de la calefacción, evaluaron mejor el ambiente térmico del lugar actual que el de su ciudad natal. Por otro lado, las personas que migraron de norte a sur no se acostumbraron a las bajas temperaturas internas y expresaron un alto porcentaje de incomodidad térmica (Luo et al., 2016).

## Humedad del aire

En condiciones de neutralidad térmica, cuando las personas realizan actividades sedentarias, la humedad del aire puede causar molestias debido a la alta humedad de la piel o por el enfriamiento ineficaz de las membranas mucosas del tracto respiratorio superior, causada por la inhalación de aire caliente y húmedo (Toftum et al., 1998a, 1998b). Sin embargo, una humedad relativa alta no necesariamente causa una alta humedad de la piel (Toftum et al., 1998b).

La humedad de un ambiente es determinada por la humedad relativa del aire, que está asociada con la temperatura del aire: cuanto mayor es la temperatura, menor es la humedad relativa y viceversa. Cuando se relaciona la humedad relativa con la sensación térmica de las personas, en la mayoría de los casos, la sensación térmica tiende a disminuir con el aumento de la humedad relativa, lo que puede llevar a conclusiones erróneas (Givoni et al., 2006) y, por lo tanto, es recomendable usar la humedad absoluta del aire, que es independiente de la temperatura del aire. En general, cuanto mayor es la humedad absoluta, los votos de sensación térmica de las personas también son mayores —tienden al lado positivo de la séptima escala— (Givoni et al., 2006).

En la revisión de algunos estudios de confort térmico en climas cálidos y húmedos realizados en Singapur, Tailandia e Indonesia, Givoni et al. (2006) concluyeron que el efecto de la humedad absoluta en la sensación térmica de las personas fue pequeño, en comparación a los efectos de la temperatura del aire, la temperatura del globo y la velocidad del aire; los autores atribuyeron la pequeña influencia de la humedad a la aclimatación de las personas a condiciones de alta humedad del aire (Givoni et al., 2006).

Según Nicol (2004), las personas se sienten incómodas cuando las variaciones de temperatura en un ambiente húmedo son menores, a diferencia de en un ambiente seco. En ambientes húmedos, la actividad realizada tiene también un pa-

pel de mayor influencia en la sensación de confort térmico Nicol (2004) calculó la temperatura de confort de diferentes investigaciones realizadas en edificios con ventilación natural —base de datos de *Humphreys* de 1975 y *ASHRAE* de 1998 y también datos de estudios en Pakistán—, incluidos los climas cálidos y húmedos, cálidos y secos y templados. En general, la temperatura de confort fue 1°C más baja en situaciones con alta humedad relativa; sin embargo, el mayor efecto de la humedad del aire sobre el confort térmico fue que, en comparación con los climas más secos, en climas húmedos los intervalos de temperatura aceptables fueron más estrechos (Nicol, 2004).

La gran mayoría de los sistemas actuales de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC por su traducción del inglés *Heating, Ventilation, And Air Conditioning*) controlan la humedad relativa del aire generando un alto consumo de energía (Alshaikh et al., 2014). En general, se puede decir que la humedad del aire tiene poca influencia en la sensación térmica de las personas en condiciones de neutralidad térmica, pero ¿por qué los sistemas de aire acondicionado continúan usando el control de humedad en alrededor del 50% o menos? En los Estados Unidos, un trabajador corriente toma, en promedio, un día por mes de licencia por enfermedad debido a problemas de salud relacionados con el síndrome del edificio enfermo, siendo la baja humedad relativa una de las causas de estas enfermedades (Alshaikh et al., 2014). En los estudios de confort se han incluido cuestiones de sensación, preferencia y aceptabilidad de la humedad del aire, principalmente en estudios en cámaras climáticas. Los estudios de campo que evalúan estos problemas aún son escasos y los estudios futuros podrían contribuir a una mejor comprensión del papel de esta variable en el confort térmico y en la salud.

## Sistemas de acondicionamiento personalizado

Los efectos de las diferencias individuales de las personas en la sensación y evaluación térmica, sumados a la dificultad de complacer térmicamente al 100% de los usuarios de las edificaciones, pueden explicar el creciente número de estudios relacionados a los sistemas de acondicionamiento personalizado. Estos sistemas tienen como objetivo crear un microclima alrededor de una persona, optimizando el consumo de energía y mejorando las condiciones de confort térmico (Vesely y Zeiler, 2014). Dichos sistemas pueden ser simples, como el uso de pequeños ventiladores para aumentar el movimiento del aire local, los cuales pueden estar

conectados al computador personal a través de USB, o pueden involucrar varios mecanismos como: silla con calefacción, silla equipada con ventiladores, mesa con calefacción, tubos de ventilación, calefacción y aire acondicionado, entre otros; bien sea para ventilar, calentar y/o enfriar partes específicas del cuerpo. Zhang et al. (2015) presentan en su revisión de literatura varios tipos de sistemas para acondicionamiento personalizados.

La mayoría de los estudios sobre el asunto, se han llevado a cabo en cámara climática, donde es promovido el aumento en la velocidad del aire para enfriar diferentes partes del cuerpo, tal como lo señalan Veselý y Zeiler (2014). Así mismo dichos autores anotaron que, con el uso de diferentes sistemas, es posible alcanzar el confort térmico con temperaturas del aire interior (temperatura ambiente) de hasta 30°C y 70% de humedad relativa del aire, usando estrategias de acondicionamiento personalizadas para la calefacción, el confort térmico puede ser alcanzado inclusive con temperaturas del aire interior de 15°C.

Zhang et al. (2015) identificaron estudios en los cuales las condiciones de confort térmico fueron garantizadas en condiciones de temperatura del aire interior de hasta 32°C, mediante el uso de ventiladores de techo, y en condiciones de temperatura del aire interior de hasta 14°C, utilizando una silla con calefacción o localizando la calefacción en piernas y pies.

Para el desarrollo de sistemas de acondicionamiento personalizados, es importante conocer las diferencias individuales de los usuarios (Jacquot et al., 2014). De esta forma, diferentes personas tendrían opciones de mecanismos de control local de ventilación, calefacción o refrigeración, permitiendo el ajuste del microclima cerca de su estación de trabajo, por ejemplo, para que coincida con sus expectativas y preferencias térmicas.

## Conclusiones

En este capítulo fueron abordadas diversas variables que pueden afectar el confort térmico, como la edad, el peso, el género y el historial térmico. En los últimos años, se han llevado a cabo una serie de experimentos que han contribuido a una mejor comprensión del confort térmico humano. Sin embargo, a pesar de que muchos estudios se han llevado a cabo en entornos reales, muchos estudios aún se realizan en cámaras climáticas, principalmente cuando se desea investigar algunas variables de forma aislada.

El confort térmico no siempre se puede entender completamente a través de las dos variables humanas y las cuatro variables ambientales. Muchos otros factores pueden influir en el confort térmico, como la edad, el sexo, el peso, el historial térmico y las preferencias individuales, como fue presentado a través de los estudios revisados en este capítulo. No obstante, la mayoría de los estudios aquí presentados pueden ser representativos de climas y culturas diferentes a las Latinoamericanas, donde aún son necesarios estudios que permitan comprender esas relaciones subjetivas y personales que afectan la evaluación del ambiente térmico.

Finalmente, los ambientes homogéneos y estáticos que conducen a la monotonía térmica y a un alto costo de energía están dando paso a ambientes más dinámicos, en los que las personas prefieren intervalos más amplios de temperaturas interiores y la ventilación natural es deseada. En este escenario, el aire acondicionado sería usado solo en momentos puntuales y podría combinarse con estrategias de acondicionamiento personalizadas, para proporcionar a los ocupantes un mayor grado de control sobre su microclima, adaptándose a sus preferencias individuales.

## Referencias

- Alshaikh, A., Roaf, S., y Smith, R. (2014). What is the relationship between humidity and comfort at high temperatures? In search of new ways of looking at the issue. In *8th Windsor Conference: counting the Cost of Comfort in a changing world.* Cumberland Lodge, Windsor, UK. [https://www.researchgate.net/publication/292060030\\_What\\_is\\_the\\_relationship\\_between\\_humidity\\_and\\_comfort\\_at\\_high\\_temperatures\\_In\\_search\\_of\\_new\\_ways\\_of\\_looking\\_at\\_the\\_issue](https://www.researchgate.net/publication/292060030_What_is_the_relationship_between_humidity_and_comfort_at_high_temperatures_In_search_of_new_ways_of_looking_at_the_issue).
- Byrne, N. M., Hills, A. P., Hunter, G. R., Weinsier, R. L., y Schutz, Y. (2005). Metabolic equivalent: one size does not fit all. *J. Appl Physiol*, 99(3), 1112-1119. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00023.2004>.
- Cândido, C., de Dear, R., Lamberts, R., y Bittencourt, L. (2010). Cooling exposure in hot humid climates: are occupants 'addicted'? *Architectural Science Review*, 53(1), 59-64. <https://doi.org/10.3763/asre.2009.0100>.
- Choi, J., Aziz, A., y Loftness, V. (2010). Investigation on the impacts of different genders and ages on satisfaction with thermal environments in office buildings. *Building and Environment*, 45(6), 1529-1535. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.004>.
- Choi, J. H., Loftness, V., y Aziz, A. (2012). Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines. *Energy and Buildings*, 46, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.009>.
- Chow, T. T., Fong, K. F., Givoni, B., Lin, Z., y Chan, A. L. S. (2010). Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. *Building and Environment*, 45(10), 2177-2183. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.03.016>.
- Chun, C., Kwok, A., Mitamura, T., Miwa, N., y Tamura, A. (2008). Thermal diary: Connecting temperature history to indoor comfort. *Building and Environment*, 43(5), 877-885. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.031>.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press.

- Givoni, B., Khedari, J., Wong, N. H., Feriadi, H., y Noguchi, M. (2006). Thermal sensation responses in hot, humid climates: effects of humidity. *Building Research & Information*, 34(6), 496-506. <https://doi.org/10.1080/09613210600861269>.
- Indraganti, M., y Rao, K. D. (2010). Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations. *Energy and Buildings*, 42(3), 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.003>.
- Jacquot, C. M. C., Schellen, L., Kingma, B. R., van Baak, M. A., y van Marken Lichtenbelt, W. D. (2014). Influence of thermophysiology on thermal behavior: the essentials of categorization. *Physiology & Behavior*, 128, 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.01.025>.
- Kaciuba-Uscilko, H., y Gruzca, R. (2001). Gender differences in thermoregulation. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 4(6), 533-536. [https://www.researchgate.net/publication/11649204\\_Gender\\_differences\\_in\\_thermoregulation](https://www.researchgate.net/publication/11649204_Gender_differences_in_thermoregulation).
- Karjalainen, S. (2012). Thermal comfort and gender: a literature review. *Indoor Air*, 22(2), 96-109. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00747.x>.
- Katafygiotou, M. C., y Serghides, D. K. (2014). Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus. *Sustainable Cities and Society*, 13, 303-312. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.03.004>.
- Kingma, B., Frijns, A., y van Marken Lichtenbelt, W. (2012). The thermoneutral zone: Implications for metabolic studies. *Frontiers in Bioscience – Elite*, 4(5), 1975-1985. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84860861128&partnerID=tZOtx3y1>.
- Kingma, B., y van Marken Lichtenbelt, W. (2015). Energy consumption in buildings and female thermal demand. *Nature Climate Change*, August, 1-5. <https://doi.org/10.1038/nclimate2741>.
- Lan, L., Lian, Z., Liu, W., y Liu, Y. (2008). Investigation of gender difference in thermal comfort for Chinese people. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 471-480. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0609-2>.
- Luo, M., Zhou, X., Zhu, Y., y Sundell, J. (2016). Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate. *Energy and Buildings*, 118, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.041>.

- Maykot, J. K., Rupp, R. F., y Ghisi, E. (2018a). Assessment of gender on requirements for thermal comfort in office buildings located in the Brazilian humid subtropical climate. *Energy and Buildings*, 158, 1170-1183. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.036>.
- Maykot, J. K., Rupp, R. F., y Ghisi, E. (2018b). A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings. *Energy and Buildings*, 178, 254-264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.033>.
- Nicol, F. (2004). Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy and Buildings*, 36(7), 628-637. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.016>.
- Rupp, R. F., Kim, J., de Dear, R., y Ghisi, E. (2018). Associations of occupant demographics, thermal history and obesity variables with their thermal comfort in air-conditioned and mixed-mode ventilation office buildings. *Building and Environment*, 135, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.049>.
- Rupp, R. F., Vásquez, N. G., y Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>.
- Schellen, L., Loomans, M., de Wit, M., y van Marken Lichtenbelt, W. (2013). The influence of different cooling techniques and gender on thermal perception. *Building Research & Information*, 41(3), 330-341. <https://doi.org/10.1080/09613218.2013.772002>.
- Schellen, L., Loomans, M. G. L. C., de Wit, M. H., Olesen, B. W., y van Marken Lichtenbelt, W. D. (2012). The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions—gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling. *Physiology & Behavior*, 107(2), 252-261. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.07.008>.
- Schellen, L., Pallubinsky, H., y van Marken Lichtenbelt, W. (2014). The relation between the thermoneutral zone and thermal comfort zone - Determination of the thermoneutral zone and the influence on thermal. In *8th Windsor Conference: counting the Cost of Comfort in a changing world*. Cumberland Lodge, Windsor, UK. [https://www.researchgate.net/publication/292060030\\_What\\_is\\_the\\_relationship\\_between\\_humidity\\_and\\_comfort\\_at\\_high\\_temperatures\\_In\\_search\\_of\\_new\\_ways\\_of\\_looking\\_at\\_the\\_issue](https://www.researchgate.net/publication/292060030_What_is_the_relationship_between_humidity_and_comfort_at_high_temperatures_In_search_of_new_ways_of_looking_at_the_issue).

- Toftum, J., Jørgensen, A. S., y Fanger, P. O. (1998a). Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin. *Energy and Buildings*, 28(1), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00017-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00017-0).
- Toftum, J., Jørgensen, A. S., y Fanger, P. O. (1998b). Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort. *Energy and Buildings*, 28(97), 15-23. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00018-2).
- van Hoof, J. (2015). Building emissions: Female thermal demand. *Nature Climate Change*, August, 1-2. <https://www.nature.com/articles/nclimate2755>.
- van Marken Lichtenbelt, W., Kingma, B., van der Lans, A., y Schellen, L. (2014). Cold exposure—an approach to increasing energy expenditure in humans. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 25(4), 165-167. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2014.01.001>.
- van Marken Lichtenbelt, W. D., y Kingma, B. R. (2013). Building and occupant energetics: a physiological hypothesis. *Architectural Science Review*, 56(1), 48-53. <https://doi.org/10.1080/00038628.2012.759377>.
- Veselý, M., y Zeiler, W. (2014). Personalized conditioning and its impact on thermal comfort and energy performance – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 401-408. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.024>.
- Yasuoka, A., Kubo, H., Tsuzuki, K., y Isoda, N. (2012). Interindividual differences in thermal comfort and the responses to skin cooling in young women. *Journal of Thermal Biology*, 37(1), 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2011.10.012>.
- Yu, J., Cao, G., Cui, W., Ouyang, Q., y Zhu, Y. (2013). People who live in a cold climate: thermal adaptation differences based on availability of heating. *Indoor Air*, 23(4), 303-310. <https://doi.org/10.1111/ina.12025>.
- Yu, J., Ouyang, Q., Zhu, Y., Shen, H., Cao, G., y Cui, W. (2012). A comparison of the thermal adaptability of people accustomed to air-conditioned environments and naturally ventilated environments. *Indoor Air*, 22(2), 110-118. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00746.x>.
- Zhang, H., Arens, E., y Zhai, Y. (2015). A review of the corrective power of personal comfort systems in non-neutral ambient environments. *Building and Environment*, 91, 15-41. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.013>.

# Factores humanos en el desempeño de la iluminación natural de oficinas. Método de evaluación integrado de suficiencia lumínica, probabilidad de deslumbramiento y efectos no visuales de la luz natural sobre la salud

Human Factors in Daylight Performance of Offices.  
Test of an Assessment Method of Light Sufficiency,  
Glare Probability and Non-visual Effects on Health

*Verónica Giraldo Gaviria*<sup>13</sup>

*Lucas Arango Díaz*<sup>14</sup>

*Elisabeth Herreño Téllez*<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> Arquitecta, Magister en Bioclimática, Diseñadora Independiente, Colombia. Correo electrónico: veronicagiraldo10@gmail.com.

<sup>14</sup> Arquitecto, Magister en Arquitectura y Urbanismo, Docente de Maestría en Bioclimática de la Universidad San Buenaventura, Colombia. Correo electrónico: lucas.arango.diaz@gmail.com.

<sup>15</sup> Diseñadora Industrial, Magister en Ingeniería, Docente de Maestría en Bioclimática de la Universidad San Buenaventura, Colombia. Correo electrónico: eherrenot@gmail.com.

## Resumen

La iluminación natural es reconocida como una estrategia adecuada para optimizar el desempeño ambiental de las edificaciones y favorecer la comodidad y salud de las personas. No obstante, en las valoraciones del desempeño lumínico de ambientes interiores no es común considerar los efectos no visuales de la luz natural. Este artículo, tiene por objetivo ensayar un método de evaluación integrada de suficiencia lumínica, probabilidad de deslumbramiento y efectos no visuales de la luz natural en una oficina localizada en Medellín, Colombia. La metodología incluyó la proposición de una herramienta de visualización de resultados que permitió hacer comparaciones del triple desempeño lumínico en los puestos de trabajo a partir de variaciones en las propiedades ópticas de los materiales. Adicionalmente, incluyó simulaciones computacionales en el programa Diva for Rhino haciendo uso de UDI para cálculos de suficiencia lumínica, DGP para evaluar la probabilidad de deslumbramiento y una adaptación de DA para estimar los efectos no visuales de luz natural. Los resultados evidencian las variaciones del desempeño lumínico según el puesto de trabajo, y ofrecen una perspectiva diferente de evaluación de la luz natural en espacios interiores.

**Palabras Claves:** Arquitectura, luz natural, desempeño lumínico, iluminación circadiana.

## Introducción

El adecuado aprovechamiento de la iluminación natural es una estrategia ampliamente aceptada para optimizar el desempeño bioclimático de ambientes de oficina tanto desde el punto de vista de la eficiencia energética, como desde la percepción de la comodidad y salud de las personas.

A pesar de esto, el enfoque asociado con minimizar la excesiva dependencia de luz artificial en espacios interiores ha primado sobre los factores humanos en

las evaluaciones de desempeño lumínico de oficinas. Investigaciones y normativas internacionales relacionadas con ambientes de oficina, han favorecido los análisis en variables de la luz natural y artificial, prevaleciendo los temas de autonomía de la luz, eficiencia energética (Boyce et al., 2003; Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2010; IESNA, 2000; Van Den Wymelenberg et al., 2010), comodidad visual y deslumbramiento (Giraldo y Arango, 2015; Jakubiec y Reinhart, 2010). El interés en los temas anteriores ha limitado el estudio de la iluminación natural a su capacidad de reducir el consumo energético asociado a la luz artificial (Andersen et al., 2008; Pattini, 2000).

No obstante, en los últimos años se ha validado el potencial de la luz natural para la estimulación física, biológica y psicológica de las personas. Se estima que si el estudio de la luz natural se redireccionara a encontrar métodos de evaluación del fenómeno, no solo en términos energéticos, sino también asociado al tema de la arquitectura como influencia en el confort y la salud, aumentaría el valor de la luz natural desde diferentes puntos de vista: a) ambientales: haciendo uso de un recurso natural que no contamina; b) económico: disminuyendo el uso de la energía y c) salud: equilibrando las reacciones en el funcionamiento biológico y físico del cuerpo. Este último enfoque representa una oportunidad para mejorar la sensación de cansancio, fatiga visual, exceso de sueño o falta del mismo como consecuencia de la exposición inadecuada a la luz natural o artificial (Figueiro et al., 2017; Giraldo et al., 2020; Öner et al., 2020; Rockcastle y Andersen, 2015; Velux Group, 2010; Wong, 2017). En efecto, controlar desde el diseño arquitectónico, la exposición a la luz natural tanto en cantidad como en calidad, podría representar cambios en el rendimiento de las personas, lo que finalmente daría un valor agregado a los diseños arquitectónicos desde la percepción y adaptación de los espacios donde laboramos.

Lo anterior justifica la búsqueda de nuevas herramientas de evaluación que puedan aplicarse desde el diseño arquitectónico, con el objetivo de valorar el desempeño lumínico de manera más amplia. En esta investigación se evaluó el desempeño lumínico en siete puestos de trabajo de un espacio de oficinas bajo tres perspectivas: suficiencia lumínica, probabilidad de deslumbramiento y salud de las personas. Para ello la investigación se enfocó en ensayar un método de evaluación de triple desempeño, a partir de la proposición de un gráfico para comparar los resultados e identificar el comportamiento de la luz natural según algunas modificaciones arquitectónicas en ambientes de oficina.

## Panorama internacional

A continuación, se exponen algunos conceptos para entender de forma general la relación entre las variables evaluadas en la investigación: suficiencia lumínica (SL), probabilidad de deslumbramiento (PD) y efectos no visuales en la salud humana (ES).

### Suficiencia lumínica

#### *Iluminancia (E)*

La Iluminancia puede ser definida como el flujo total de luz que incide sobre una superficie. Es la unidad de medida más utilizada para cuantificar la luz en los espacios, su unidad es el *lux*, según el *Sistema Internacional de Medidas*, equivale a la iluminación de una superficie que recibe un flujo luminoso normal y uniforme con la intensidad de 1 lumen/m<sup>2</sup> (Reinhart y Wienold, 2010). Los requerimientos de iluminancias (lux) para espacios interiores con uso de oficinas abiertas, según la normativa colombiana es entre 500 y 1000 lux (Ministerio de Minas y Energía, 2010). En la actualidad, la aplicación de estos niveles pueden ser discutidos por ser adoptados a partir de normas internacionales, basadas en iluminación artificial y con criterios asociados a la productividad y no a la percepción de suficiencia lumínica de las personas, generando dudas para una ubicación geográfica en el trópico andino y en la consideración de otros criterios. Esto quiere decir que, si se profundiza en la evaluación de un espacio desde diferentes variables, los niveles requeridos desde la normativa pueden ser susceptibles a cambios, dependiendo de la exigencia visual para la realización de una tarea específica, la capacidad o limitación visual del sujeto y la edad (IESNA, 2000, p. 448).

La iluminancia puede ser evaluada sobre superficies horizontales o verticales según la variable que se desee analizar. Para temas de distribución lumínica se utilizan planos de trabajo horizontales o superficies de piso a diferentes alturas, y para factores humanos, se evalúan planos verticales a la altura visual del observador.

#### *Iluminancia vertical*

Los efectos no visuales en la salud están relacionados con las mediciones de la iluminancia vertical. Es decir, la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie vertical imaginaria a la altura de los ojos del observador. Actualmente

las mediciones de iluminancias horizontales y verticales ayudan a equilibrar la luz y minimizar las sombras dentro de los espacios de trabajo. Estudios recientes han aplicado métricas dinámicas para evaluar parámetros de intensidad de iluminancia vertical a partir de la altura de los ojos, entre otras variables para predecir la magnitud y la dirección de los efectos circadianos en la salud como: (Kleindienst y Andersen, 2012; Li et al., 2010).

## **Deslumbramiento**

El deslumbramiento, es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión y depende de varios factores: la porción de cielo visible, la presencia del disco solar en el campo visual, los reflejos de las superficies por los colores o las texturas de los materiales. En otras palabras, “ocurre cuando la luminancia es superior a la adaptación de los ojos en un periodo de tiempo, causando molestia, incomodidad o pérdida de realización visual y reduciendo la efectividad en el desarrollo de la tarea” (McCormick, 1976, p. 290). Algunos estudios recientes han utilizado diferentes métricas y métodos para cuestionar su aplicabilidad y eficiencia en los efectos del deslumbramiento con iluminación natural en espacios de trabajo. (Hamedani et al., 2020; Kent et al., 2017; Wasilewski et al., 2019).

## **Efectos no visuales en la salud**

En esta investigación se abordó el tema de la salud desde la influencia de la luz natural sobre el cuerpo humano, consecuencia de los efectos no visuales que estimulan física, biológica y psicológicamente a los seres humanos. Para comprenderlo es necesario ampliar los conceptos del órgano visual, unidades equivalentes de lux melanópicos (EML) e iluminación circadiana.

## ***El órgano visual y sus fotorreceptores***

El órgano visual está compuesto por diferentes partes, entre ellas, la retina, donde se encuentran las células neuronales sensibles a la luz o fotorreceptores, estos son de tres tipos: los conos que tienen como función la visión a color, los bastones encargados de la visión con bajos niveles de luz y las células ganglionares fotosensitivas (ipRGCs) que contienen un fotopigmento llamado melanopsina, el cual no hace parte de la generación de imágenes, sin embargo, esta encargado de regular los efectos biológicos, sincronizar los ciclos circadianos en un periodo de 24

horas (Alkoziv, 2019, p. 5; Bommel y van den Beld, 2004; Domínguez y Pérez, 2015; Lucas et al., 2014), generar estímulos lentos, acumular la presencia de luz a lo largo del día, regular el tamaño de la pupila, entre otros comportamientos relacionados con las condiciones ambientales de iluminación (Brainard et al., 2001; van Bommel y van den Beld, 2004).

### ***Estudios de eficiencia espectral de los ipRGCs EML***

La eficiencia espectral de los ipRGCs ha sido estudiada desde el 2011, midiendo la función de rendimiento melanópico (C-lambda) en unidades equivalentes de lux melanópicos o EML, datos que surgieron a partir de cada espectro deseado, derivado en los lux equivalentes de cada fotorreceptor (Enezi et al., 2011). Lo anterior aplica a diferentes fuentes de luz (incandescente CIE A-2856k, fluorescente CIE F11-4000k, D65-cielo cubierto: luz día-luz natural, luz azul LED95-9500k; entre otros) lo cual varía según el potencial de distribución espectral (SPD).

Reconociendo la eficiencia espectral de los ipRGCs y la relación con la sincronización de los ciclos circadianos, nuestro órgano visual es responsable de codificar y transmitir la información a partir de la abundancia de la luz natural o artificial, produciendo serotonina, encargada del estado de alerta, secretando melatonina<sup>16</sup>, llamada la hormona del sueño y activando el cortisol relacionado con el nivel de actividad cerebral y motriz. “Cuando los ojos captan los niveles de luz necesarios, el cerebro recibe impulsos relacionados con las emociones y las funciones hormonales” (Boubekri, 2014, p. 31).

Asimismo, “en el cerebro se generan otros procesos químicos y físicos del metabolismo y de todas las reacciones químicas de cada célula del cuerpo, siendo responsable del crecimiento, circulación, respiración, reproducción, equilibrio de emociones, temperatura corporal, patrones de sueño, entre otros” (Boubekri, 2014, p. 31). Hasta el momento, la medicina ha evidenciado algunas enfermedades o alteraciones relacionadas con el fenómeno de la luz como: la epilepsia fotosensitiva, el trastorno afectivo estacional (SAD), insomnio, pérdida de visión, *jet lag* y dolores de cabeza (Kopec, 2017).

Investigaciones recientes (Amundadottir et al., 2017; Andersen, 2015) han identificado que estimular la melanopsina<sup>17</sup>, involucrada con la regulación del ritmo

<sup>16</sup>Neurohormona controlada con la activación de melanopsina.

<sup>17</sup>Fotopigmento que se encuentra en las células ganglionares fotosensibles de la retina.

circadiano, los reflejos pupilares y las respuestas no visuales a la luz, se lograría con cinco factores de exposición a la luz bajo iluminancia vertical: I) intensidad del nivel lumínico, II) longitud de onda de la luz al que se está expuesto, III) duración de exposición a los niveles lumínicos, IV) sincronización del ciclo circadiano y V) adaptación al nivel lumínico o exposición previa (Andersen et al., 2008).

### **Iluminación circadiana – EML**

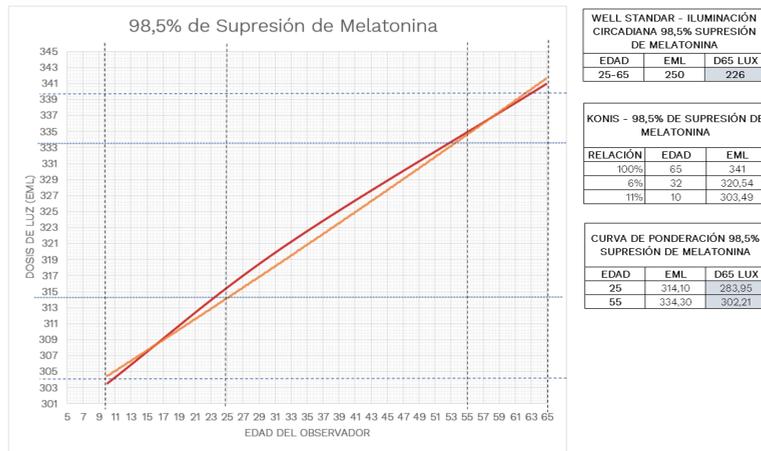
La iluminación circadiana, es el sistema de iluminación que se relaciona con los efectos no visuales, alterando el comportamiento biológico, fisiológico y psicológico, afectando los ciclos circadianos. Un nuevo concepto que involucra la luz natural o artificial, la arquitectura, los factores humanos y la salud. (International WELL Building Standar, 2016; Rea y Figueiro, 2016). Esta iluminación considera el ciclo interno de un ser humano en condiciones sanas, es decir, 24.2 horas para mantener el arranque local, asimismo, se ha encontrado en los últimos estudios que los efectos producidos en el cuerpo por la luz no son instantáneos, pero si acumulativos (Konis, 2017). Esto depende en gran medida de la cantidad y calidad de la luz que reciba el órgano visual, lo que posteriormente puede evaluarse en bienestar, atención, calidad de sueño, entre otros estímulos.

Por otra parte, no se cuenta con una normativa que regule la cantidad de luz (lux) mínima, que apoye el arrastre circadiano o favorezca la supresión de melatonina en los espacios interiores, no obstante, en esta investigación se aplicó una nueva métrica de EML construida a partir dos referentes teóricos: Certificación WELL y de Kyle Konis (Internacional WELL Building Institute, 2016; Konis, 2017). Esta métrica, contiene una curva de ponderación que cruzó información de ambas fuentes, relacionando datos para diferentes edades que conlleven a estimar la iluminación circadiana (Giraldo et al., 2020, p. 7) (ver figura 1).

Para el caso de este trabajo, la curva de ponderación se construyó con unos valores cercanos de EML para usuarios entre 10 a 65 años, visualizando específicamente que una persona de 25 años requiere 314.10 EML (283.95 lux) y una de 55 años necesita 334.30 EML (302.21 lux) para suprimir un 98.5% de melatonina, con una fuente o iluminante CIE D65 – Cielo cubierto: luz día-luz natural.

**Figura 1**

*Curva de ponderación del 98,5% de supresión de melatonina según la edad y la dosis de luz.*



*Nota:* Elaboración propia a partir de Internacional WELL Building Standard, (2016, p. 96) y Konis, (2017, p. 24)

## Métrica Useful Daylight Illuminance (UDI)

La métrica UDI calcula valores de iluminación horizontal cada hora, identificando el porcentaje de tiempo al año que un punto en el espacio evaluado se encuentra en un rango lumínico específico, para lo cual, se definen cuatro rangos de iluminación: <100 lux, 100–300 lux, 300–3000 lux y >3000 lux. Siendo una iluminación útil entre 300 a 3000 lux, aunque esto puede cambiar según las condiciones del tipo de cielo durante el año, para lo cual, es conveniente utilizar los archivos climáticos del lugar a evaluar (Pereira et al., 2012; Reinhart, 2014).

Las características de la métrica de UDI, se emplean dentro de la investigación para medir iluminación útil o suficiencia lumínica a diferentes rangos sobre el plano de trabajo, sin que esto condicione unos resultados estándar. En otras palabras, la valoración de las iluminancias útiles de la luz natural, estarán ligadas a la capacidad que tiene un espacio de aprovechar anualmente la cantidad y calidad de luz natural efectiva para iluminar las superficies y garantizar niveles adecuados para la realización de una tarea en un punto específico.

## Daylight Autonomy (DA)

La métrica Daylight Autonomy (DA) mide la disponibilidad de luz día que corresponde al porcentaje del tiempo ocupado, que satisface la iluminancia objetivo en un punto específico del espacio; pero esto puede cambiar según las condiciones del tipo de cielo durante el año (Pereira et al., 2012; Reinhart, 2014). Una de las virtudes de la métrica DA, también conocida como *Métrica Dinámica de Autonomía de Luz Diurna*, es la posibilidad de insertar en la programación computacional un informe climático anual según la localización geográfica, además, el nivel lumínico puede variar en función de la tarea visual. Estas características de flexibilidad de la métrica de DA, son útiles dentro de la investigación para medir la autonomía de luz natural con diferentes iluminancias objetivo sobre una superficie vertical en usuarios de 25 y 55 años, valores resultantes de la métrica propuesta de EML. La medición en este estudio se realizó con una malla de puntos sobre las superficies verticales de 70×60 cm, como representación del encuadre de la mirada del observador hacia la pantalla, a una altura de 1.20 m del piso acabado. Este tipo de simulación se realizó para todos los casos en los 7 puestos de trabajo con un objetivo mínimo de 4 horas al día con 283.95 y 302.21 lux, valores correspondientes a 25 y 55 años.

## Metodología

Para la evaluación del desempeño lumínico simultáneo desde la triple perspectiva suficiencia lumínica (SL), la probabilidad de deslumbramiento (PD) y los efectos no visuales en la salud (ES), se realizaron simulaciones dinámicas de luz natural en 7 puestos de trabajo de una oficina con el programa *Diva for Rhino*. Para el procesamiento de los resultados, fue propuesto un gráfico que facilita la comparación del tripe desempeño.

Para la valoración de la suficiencia lumínica en las simulaciones computacionales, fue considerado el porcentaje de tiempo al año que el nivel lumínico permaneció en la mesa en el rango útil de **UDI**, es decir, entre 300 y 3000 lux. Para el cálculo de los efectos no visuales en la salud (ES), fue utilizada la métrica de autonomía de luz diurna **DA** en un plano vertical a la altura de los ojos de las personas, es decir, 1.2 m. Las iluminancias de referencia para esta métrica se establecieron así: para los usuarios de 25 años se usó una iluminancia objetivo de 283.95 lux, mientras que para las simulaciones con personas de 55 años se usó 302.21

lux. En el cálculo de la probabilidad de deslumbramiento, fue utilizada la probabilidad de deslumbramiento **DGP**, para ello, se identificó el porcentaje de tiempo anual en que las personas estarían entre los rangos: imperceptible, perceptible, incomodo e intolerable (ver tabla 2). Para el caso de esta investigación, se definió el rango de deslumbramiento aceptable entre: imperceptible  $0.35 > DGP$  o perceptible  $0.4 > DGP \geq 0.35$ . Las evaluaciones se realizaron a una altura de 1.20 m del nivel de piso, con una dirección frontal a la pantalla y una superficie aferente de  $70 \times 60$  cm (ver figura 2).

**Tabla 2**

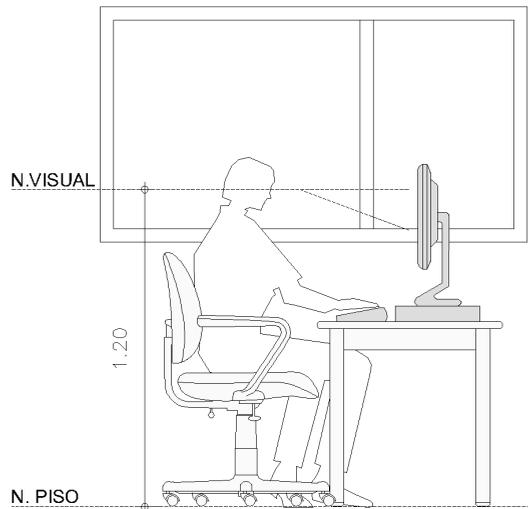
*Valores de deslumbramiento según métrica DGP.*

| Intolerable glare | Disturbing glare      | Perceptible glare     | Imperceptible glare |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| $DGP \geq 0.45$   | $0.45 > DGP \geq 0.4$ | $0.4 > DGP \geq 0.35$ | $0.35 > DGP$        |

*Nota.* Elaboración propia a partir de Jakubiec y Reinhart, (2010, p. 18).

**Figura 2**

*Esquema de evaluación de deslumbramiento.*



*Nota:* Elaboración propia, 2018.

El desarrollo de esta investigación se realizó en las siguientes tres etapas: la primera, en la que se establecen los rangos de evaluación de desempeño según las métricas de suficiencia lumínica (UDI), probabilidad de deslumbramiento (DGP) y efectos no visuales en la salud (DA); la segunda, en el que se propone un gráfico que permite valorar y comparar simultáneamente los casos simulados en relación con la suficiencia lumínica, la probabilidad de deslumbramiento y los efectos no visuales en la salud; y la última etapa, la aplicación del método de evaluación en un caso real a partir de diversas modificaciones.

### Rangos de evaluación – Etapa 1

Se construyó una tabla de valoración cuantitativa según el porcentaje de tiempo al año en que la iluminancia vertical u horizontal interviene en el espacio evaluado. Estos porcentajes se repartieron en tres rangos: no deseado, deseado, moderado y bueno, siendo bueno, el rango que promueve mayor calidad lumínica, comodidad visual y supresión de melatonina a un 98.5%, evitando sensación de sueño durante las horas de ocupación de la oficina. Al igualar en la tabla de valoración las métricas de suficiencia lumínica (UDI), Probabilidad de deslumbramiento (DGP) y efectos no visuales en la salud (DA), se generó la primera parte de los insumos para la construcción del gráfico de triple desempeño (ver tabla 3).

Tabla 3

*Rangos de evaluación de desempeño según suficiencia lumínica (UDI), Probabilidad de deslumbramiento (DGP), Efectos no visuales en la salud (DA).*

| Métrica | No deseado | Moderado     | Bueno     |
|---------|------------|--------------|-----------|
| UDI     | 0 a 19.9%  | 20 a 49.9%   | 50 a 100% |
| DGP     | 0 a 84.9%  | 85 a 94.9%   | 95 a 100% |
| DA      | 0 a 22.4%  | 22.5 a 44.9% | 45 a 100% |

*Nota.* Elaboración propia, 2018.

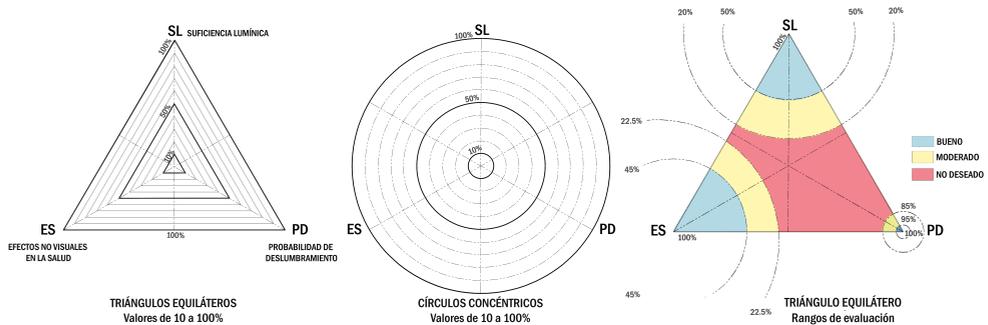
### Gráfico de triple desempeño – Etapa 2

En esta etapa, se diseñó el gráfico dinámico con el uso de herramientas de Excel para analizar integralmente el triple desempeño de los casos simulados. Lo anterior se logró a partir de tres elementos: el primero corresponde a un triángulo equilátero donde cada nodo se identificó con una variable (SL: suficiencia lumínica, PD: probabilidad de deslumbramiento, ES: efectos no visuales en la salud).

Dentro de esta figura se ubicaron nueve triángulos concéntricos, cada uno con un valor de 10 a 100% según su posición; siendo 100% el triángulo más externo; segundo: se utilizaron 10 círculos concéntricos donde cada uno corresponde a un 10%; y tercero: se utilizó un otro triángulo equilátero para distribuir internamente una gama de tres colores relacionados con la tabla de valoración de la etapa 1, siendo rojo: no deseado, amarillo: moderado y azul: bueno (ver figura 3).

**Figura 3**

*Composición geométrica del gráfico de triple desempeño.*



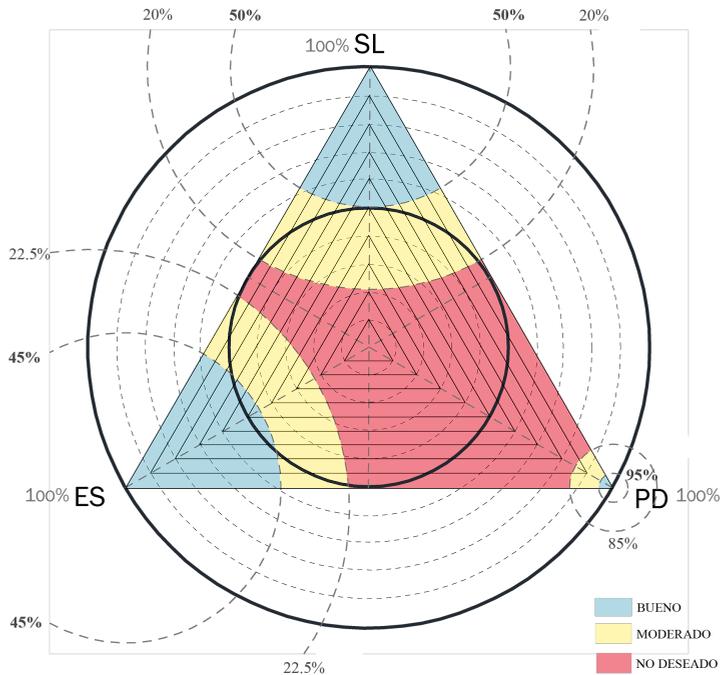
*Nota:* Elaboración propia, 2018.

Los tres elementos diseñados en la figura 3, se superpusieron para para crear el gráfico de triple desempeño. Esto permitió darle un valor a cada línea que se interceptara entre las figuras, logrando que la representación visual contara con un calificativo numérico dentro de toda el área del gráfico.

Finalmente, el sistema de representación gráfico propuesto en esta investigación, se construyó como herramienta para facilitar posteriormente la lectura de los datos de triple desempeño (SL: suficiencia lumínica, PD: probabilidad de deslumbramiento, ES: efectos no visuales en la salud) en cada uno de los casos simulados (ver figura 4).

Figura 4

Gráfico de triple desempeño de luz natural.



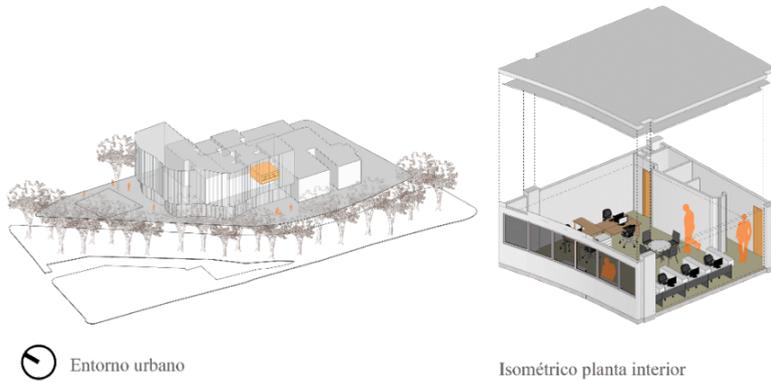
Nota: Elaboración propia, 2018.

### Aplicación del método de evaluación – Etapa 3

Una vez propuesta la herramienta gráfica de triple desempeño, se procedió a ensayar el método de evaluación integrado de *Suficiencia Lumínica* (SL), *Probabilidad de Deslumbramiento* (PD) y *los Efectos no Visuales en la Salud* (ES) para un espacio de oficina existente. Para este trabajo, se seleccionó una oficina localizada en la ciudad de Medellín, Colombia (lat. 6.25, lon. -75.5, alt.1495 m.s.n.m.), de geometría cuadrada y una distribución espacial de planta libre (ver figura 5) con una sola ventana al sur, y acabados principalmente claros en las superficies interiores.

## Figura 5

*Espacio de trabajo seleccionado.*

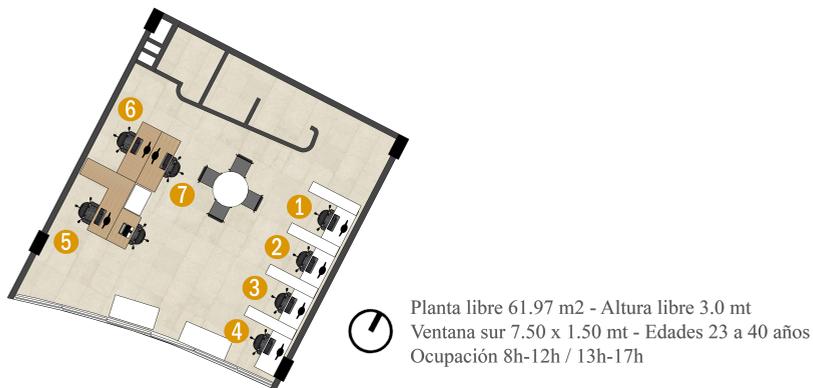


*Nota:* Elaboración propia, 2018.

En el programa computacional *Rhino* con el plug-in *Diva*, se modeló el ambiente evaluado con los siete puestos de trabajo (ver figura 6). Se realizaron las simulaciones dinámicas haciendo uso de las métricas UDI, DGP y DA.

## Figura 6

*Puestos de trabajo evaluados.*



*Nota:* Elaboración propia, 2018.

Además, se utilizó un archivo climático de la zona de análisis, con una programación anual e intervalos de 60 minutos entre las 08h–00 min. a las 18h–00 min., considerando durante este tiempo solo el uso de luz natural en el interior de la oficina sin dispositivos de protección solar en las ventanas.

Con el fin de identificar la mayor o menor influencia de las propiedades ópticas de los materiales sobre el desempeño lumínico, se realizaron las simulaciones de un caso real (CRLAB01-7), haciendo uso de las propiedades ópticas reales de los materiales, y un caso modificado CMCLAB01-7 con superficies opacas oscuras (ver tabla 4).

**Tabla 4**

*Propiedades ópticas de los materiales.*

| Oficina–Características espaciales |            |       |             |       |
|------------------------------------|------------|-------|-------------|-------|
| Capas                              | CR–LAB01–7 |       | CMC–LAB01–7 |       |
| Propiedades                        | %R         | %(LT) | %R          | %(tn) |
| Árboles                            | 35         |       | 35          |       |
| Cielo                              | 80         |       | 40          |       |
| Muros                              | 70         |       | 40          |       |
| Pantallas                          | 30         |       | 30          |       |
| Pisos                              | 70         |       | 40          |       |
| Superficies de trabajo 1           | 70         |       | 30          |       |
| Superficies de trabajo 2           | 70         |       | 30          |       |
| Vidrios                            | 30         |       | 30          |       |

(R) Referencia–(LT) Coeficiente de transmitancia lumínica–(tn) Coeficiente de transmisividad visual.

| Coeficientes para las propiedades de transmitancia Lumínica (LT) y transmisividad visual (tn) |              |      |         |
|---|--------------|------|---------|
| Vidrio  | Tipo         | (LT) | (tn)    |
| Panel sencillo  | Transparente | 88 % | 96 %    |
| Panel sencillo  | Gris         | 58 % | 63 %    |
| Panel sencillo  | Translucido  | 20 % | 40.40 % |

Coeficientes de vidrios <http://www.pikington.com/en/global/products/product-categories/solar-control>

*Nota:* Elaboración propia, 2018.

## Resultados

Los resultados encontrados en las simulaciones computacionales se evidencian en las tablas de desempeño individual de los puestos de trabajo, exponiendo el comportamiento de las modificaciones en las propiedades ópticas de los materiales sobre la iluminancia horizontal y vertical, las cuales fueron medidas según la métrica que corresponda a cada variable Suficiencia Lumínica (UDI), Probabilidad de Deslumbramiento (DGP) y Efectos no Visuales en la Salud (DA); teniendo en cuenta usuarios de 25 y 55 años (ver tabla 5).

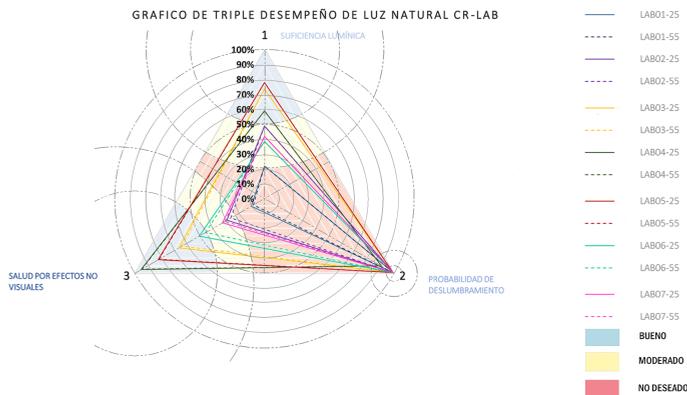
### Comparación de resultados en el gráfico de triple desempeño lumínico

Los datos obtenidos del caso real (CR) y el caso modificado (CMC), se aplicaron en el gráfico de triple desempeño (ver figura 7 y figura 8) facilitando una comparación en el desempeño lumínico a partir del cambio en los elementos arquitectónicos.

El acercamiento de las variables a los nodos externos del gráfico, representan la aproximación a los valores ideales de iluminación natural, donde se evita el deslumbramiento y se garantiza la cantidad suficiente de luz natural durante 4 horas al día para controlar los efectos de desconcentración por sueño o fatiga visual para personas entre 25 y 55 años.

Figura 7

Gráfico comparativo de triple desempeño lumínico - caso (CR), 25 y 55 años.



Nota: Elaboración propia, 2018.

Tabla 5

Resultados de la evaluación de desempeño a partir de UDI, DGP, DA en los casos CR/CMC.

| Métrica | Variables                       |    | Caso simulado: CR-Estado actual |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------------------------------|----|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|         |                                 |    | 01-25                           | 01-55   | 02-25   | 02-55   | 03-25   | 03-55   | 04-25   | 04-55   | 05-25   | 05-55   | 06-25   | 06-55   | 07-25   | 07-55   |
| UDI     | Suficiencia lumínica            | SL | 21.80 %                         | 21.80 % | 48.67 % | 48.67 % | 73.53 % | 73.53 % | 58.80 % | 58.80 % | 77.78 % | 77.78 % | 38.27 % | 38.27 % | 41.67 % | 41.67 % |
| DGP     | Probabilidad de deslumbramiento | PD | 99.73 %                         | 99.73 % | 99.48 % | 99.48 % | 99.26 % | 99.26 % | 90.16 % | 90.16 % | 99.23 % | 99.23 % | 99.42 % | 99.42 % | 99.48 % | 99.48 % |
| DA      | Efectos no visibles en la salud | ES | 10.22 %                         | 8.56 %  | 29.00 % | 26.00 % | 66.00 % | 63.37 % | 95.22 % | 94.56 % | 82.00 % | 81.44 % | 50.33 % | 45.44 % | 32.42 % | 30.50 % |

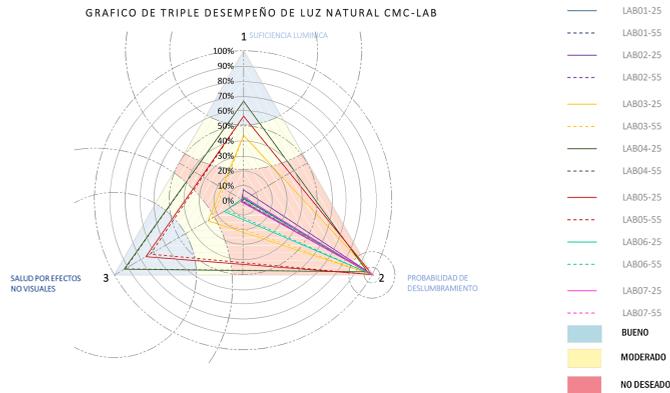
  

| Métrica | Variables                       |    | Caso simulado: CMC-Cambio de superficies a tonalidades oscuras |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |          |          |
|---------|---------------------------------|----|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
|         |                                 |    | 01-25  | 01-55    | 02-25   | 02-55   | 03-25   | 03-55   | 04-25   | 04-55   | 05-25   | 05-55   | 06-25   | 06-55   | 07-25    | 07-55    |
| UDI     | Suficiencia lumínica            | SL | 1.07 %   | 1.07 %   | 7.00 %  | 7.00 %  | 43.40 % | 43.40 % | 66.20 % | 66.20 % | 56.22 % | 56.22 % | 1.73 %  | 1.73 %  | 2.40 %   | 2.40 %   |
| DGP     | Probabilidad de deslumbramiento | PD | 100.00 %   | 100.00 % | 99.97 % | 99.97 % | 99.48 % | 99.48 % | 95.53 % | 95.53 % | 99.23 % | 99.23 % | 99.51 % | 99.51 % | 100.00 % | 100.00 % |
| DA      | Efectos no visibles en la salud | ES | 1.22 %   | 1.00 %   | 1.89 %  | 1.33 %  | 27.33 % | 24.33 % | 92.12 % | 91.44 % | 75.33 % | 71.89 % | 14.89 % | 13.22 % | 1.58 %   | 1.75 %   |

Nota: Elaboración propia, 2018.

**Figura 8**

*Gráfico comparativo de triple desempeño lumínico - caso (CMC), 25 y 55 años.*



*Nota:* Elaboración propia, 2018.

Los resultados de las simulaciones del caso real (CR) y el caso modificado (CMC) evidencian un comportamiento muy similar para las personas de 25 y 55 años, además de mostrar que los puestos de trabajo 1, 2, 6 y 7 en el caso real y la modificación arquitectónica con superficies oscuras, poseen la mayor parte del año unos porcentajes de desempeño moderado y no deseado debido a su ubicación distante de la ventana, razón por la cual, los valores de deslumbramiento en la mayoría sobrepasan el 95%, no por temas óptimos de las superficies horizontales y verticales, sino porque la admisión mínima de luz natural está por debajo del 50%. Por lo tanto, queda demostrado en el gráfico de triple desempeño que valorar solamente por una de las tres variables no garantiza que el espacio sea bueno.

El puesto de trabajo 3 en los casos CR, cumple el rango bueno para temas de Suficiencia Lumínica, Probabilidad de Deslumbramiento y Efectos no Visuales de Salud, condición favorable por su ubicación no mayor a 2 m de la ventana, sin embargo, en el caso CMC el desempeño es moderado especialmente en los efectos no visuales en la salud.

El puesto 4, resulta ser bueno en el caso CMC al oscurecer las superficies de trabajo y moderado, en el caso CR por estar a 1 m de distancia de la ventana y por tener superficies claras en el plano de trabajo.

Y el puesto 5, es la ubicación ideal para ambas edades en cualquiera de los dos casos, cumpliendo el rango bueno para las tres variables. Lo anterior es consecuencia de la ubicación, el sentido del puesto de trabajo paralelo a la ventana y el equilibrio entre el color y acabado de las superficies horizontales y verticales.

En resumen, el estado actual de la oficina evaluada (CRLAB01-7) para 25 y 55 años, cuenta con dos casos en un rango bueno, cuatro en un rango moderado y un caso no deseado concluyendo que las modificaciones planteadas (CMC), no representan mejoras significativas en las tres variables. Los puestos de trabajo menos favorecidos del caso real podrían corregirse con un aporte lumínico adicional.

## Discusión

Los avances recientes en las investigaciones de la luz natural y la influencia en la respuesta humana reafirman la importancia de incluir la luz del día en los análisis de funcionalidad y en diseños arquitectónicos. A esto se suma que las dinámicas de trabajo han cambiado, buscando ser flexibles a los nuevos modelos de vida, por lo tanto, desconocer sus características, ventajas y posibles implicaciones en los diseños arquitectónicos podría ser desafortunado para mejorar la salud de las personas en sus espacios de trabajo. De hecho, el libro *Daylighting and Integrated lighting Design*, afirma que las superficies interiores según su color y acabado sirven para reflejar la luz, reducir los contrastes, controlar los brillos molestos y alcanzar los niveles de lux deseados de manera homogénea en todo el espacio (Meek y Wymelenberg, 2015).

Como arquitectos e ingenieros dedicados a la construcción de espacios, debemos encontrar nuevos métodos de evaluación o herramientas gráficas que permitan analizar de manera integral diferentes variables como el uso de luz natural, los aportes a las condiciones de salud de las personas y la disminución del consumo de energía dentro de los espacios interiores.

## Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue proponer un nuevo método de evaluación integral que incluyera herramientas para visualizar el desempeño lumínico de un espacio de oficina a partir de 3 variables analizadas simultáneamente. Los resultados desde el punto de vista metodológico son contundentes, en tanto que, ante la falta de recursos para evaluar factores humanos con luz natural de manera dinámica, se propone una adaptación de una herramienta típicamente usada para cálculos de suficiencia lumínica y deslumbramiento. Esto permitió cruzar información científica para analizar condiciones distintas a lo propuesto por los conceptos de iluminación circadiana y los estándares de EML. En otras palabras, el método de evaluación demostró que valorar o considerar una sola variable no garantiza que un espacio de oficina tenga un buen desempeño lumínico.

La simulación computacional aplicando las métricas UDI, DGP y DA de un caso real y una modificación arquitectónica, complementó el análisis integral del desempeño de las variables Suficiencia Lumínica (SL) Probabilidad de Deslumbramiento (PD) y Efectos no Visuales en la Salud (ES), facilitando la toma de decisiones en etapas iniciales del diseño o en posibles adecuaciones espaciales para mejorar la iluminación desde el triple desempeño.

La aplicación de la herramienta gráfica de triple desempeño en la comparación de los casos simulados, obtuvo mayor relevancia al facilitar la visualización de todos los resultados en un solo gráfico, concluyendo lo siguiente: I. Se identificaron los puestos de trabajo con mayores niveles de aceptación lumínica según la edad del usuario; II. Se visualizaron las posibles variaciones arquitectónicas, adaptables puntualmente a un puesto de trabajo, lo cual mejoraría su desempeño; III. Se confirmó la importancia de mantener un balance entre las variables analizadas para responder efectivamente a condiciones de suficiencia lumínica, comodidad visual y bienestar para cada puesto de trabajo, IV. La practicidad de la herramienta grafica de triple desempeño podría adaptarse fácilmente a la evaluación de otras variables distintas a la iluminación.

## Referencias

- Al Enezi, J., Revell, V., Brown, T., Wynne, J., Schlangen, L., y Lucas, R. (2011). A "melanopic" spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to polychromatic lights. *Journal of Biological Rhythms*, 26(4), 314-323. <https://doi.org/10.1177/0748730411409719>.
- Amundadottir, M., Rockcastle, S., Khanie, M., y Andersen, M. (2017). A human-centric approach to assess daylight in buildings for non-visual health potential, visual interest and gaze behavior. *Building and Environment*, 113, 5-21. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.033>.
- Andersen, M. (2015). Unweaving the human response in daylighting design. *Building and Environment*, 91, 101-117. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.014>.
- Andersen, M., Kleindienst, S., Yi, L., Lee, J., Bodart, M., y Cutler, B. (2008). An intuitive daylighting performance analysis and optimization approach. *Building Research & Information*, 36(6), 593-607. <https://doi.org/10.1080/09613210802243159>.
- Awad-Alkoziv, H. (2019). Melatonin and melanopsin in the eye: friends or foes? *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 85(1), 49-59. [https://analesranf.com/articulo/8501\\_rev02/](https://analesranf.com/articulo/8501_rev02/).
- Boubekri, M. (2014). *Daylighting Design: Planning Strategies and Best Practice Solutions*. Walter de Gruyter GmbH. <https://books.google.com.co/books?id=C9OBMAEACAAJ>.
- Boyce, P. R., Hunter, C., y Howlett, O. (2003). The Benefits of Daylight through Windows. *Capturing the Daylight Dividend Program*, 1, 1-88. <https://doi.org/12180-3352>.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. R., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., y Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405-6412. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.21-16-06405.2001>.
- Domínguez, C. A., y Pérez, J. A. (2015). Mecanismo de fototraducción de la melanopsina en las células ganglionares retinianas intrínsecamente fo-

- tosensibles (IpRGC). *Gaceta Medica de Mexico*, 151(6), 764-776.  
[https://www.anmm.org.mx/GMM/2015/n6/GMM\\_151\\_2015\\_6\\_764-776.pdf](https://www.anmm.org.mx/GMM/2015/n6/GMM_151_2015_6_764-776.pdf).
- Figueiro, M. G., Steverson, B., Heerwagen, J., Kampschroer, K., Hunter, C. M., Gonzales, K., Plitnick, B., y Rea, M. S. (2017). The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers. *Sleep Health*, 3(3), 204-215. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2017.03.005>.
- Giraldo, N., y Arango, L. (2015). Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño lumínico de fachadas. *Arquetipo*, 11, 61-76.  
<https://doi.org/10.31908/22159444.3011>.
- Giraldo, V., Arango, L., y Herreño, E. (2020). Valoración del desempeño lumínico de puestos de trabajo a partir de los efectos no visuales de la luz natural sobre la salud. *ACE Architecture , City and Environment*, 15(43), 1-14.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/192034>.
- Hamedani, Z., Solgi, E., Hine, T., y Skates, H. (2020). Revealing the relationships between luminous environment characteristics and physiological, ocular and performance measures: An experimental study. *Building and Environment*, 172, 1-12.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106702>.
- Illuminating Engineering Society. (2000). *Lighting Handbook*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2010). *NTC 3955: Ergonomía, definiciones y conceptos ergonómicos*.  
<https://es.scribd.com/document/244521773/ERGONOMIA-BUENO-pdf>.
- International Well Building Institute. (2016). *The well Building standard (I)*. De los Living LLC. <https://standard.wellcertified.com/sites/standard.wellcertified.com.v3/files/The%20WELL%20Building%20Standard%20September%202015.pdf>.
- Jakubiec, A., y Reinhart, C. (2010). The use of glare metrics in the design of daylight spaces: recommendations for practice [Diapositiva de Power Point]. [http://web.mit.edu/tito\\_/www/Projects/Glare/2010RadianceWorkshop\\_GlareIndices.pdf](http://web.mit.edu/tito_/www/Projects/Glare/2010RadianceWorkshop_GlareIndices.pdf).
- Kent, M. G., Altomonte, S., Wilson, R., y Tregenza, P. R. (2017). Temporal effects on glare response from daylight. *Building and Environment*, 113, 49-64.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.002>.

- Kleindienst, S., y Andersen, M. (2012). Comprehensive annual daylight design through a goal-based approach. *Building Research and Information*, 40(2), 154-173. <https://doi.org/10.1080/09613218.2012.641301>.
- Konis, K. (2017). A novel circadian daylight metric for building design and evaluation. *Building and Environment*, 113, 22-38. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.025>.
- Kopec, D. (2017). *Health and well-being for interior architecture*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315464411>.
- Li, D. H. W., Cheung, G. H. W., Cheung, K. L., y Lam, T. N. T. (2010). Determination of vertical daylight illuminance under non-overcast sky conditions. *Building and Environment*, 45(2), 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.07.008>.
- Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., Figueiro, M., Gamlin, P., O'Hagan, J., Price, L., Provencio, I., Skene, D., y Brainard, G. C. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>.
- McCormick, E. (1976). *Ergonomía-Factores humanos en Ingeniería y Diseño*. McGraw-Hill.
- Meek, C., y Wymelenberg, K. (2015). *Daylighting and integrated lighting design*. Routledge.
- Öner, M., Kazanasmaz, T., Leccese, F., y Salvadori, G. (2020). Analysis of the relationship between daylight illuminance and cognitive, affective and physiological changes in visual display terminal workers. *Building Services Engineering Research and Technology*, 41(2), 167-182. <https://doi.org/10.1177/0143624419894441>.
- Pattini, A. (2000). Recomendaciones de niveles de iluminación en edificios no residenciales. Una comparación internacional. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4(1), 7-12. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/79165/Documento\\_completo.PDF-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/79165/Documento_completo.PDF-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Pereira, F. O., Fonseca, R. W., Moraes, L. N., Gaviria, L., R., y Sobreira, A. S. (2012, 25 de octubre). *Iluminação Natural: Comparação entre Percepção Visual e medidas dinâmicas de avaliação*. XII ENCAC-Encontro Nacional de Conforto No Ambiente Construído, Brasil. <https://docplayer.com.br/599>

- 29606-Illuminacao-natural-comparacao-entre-percepcao-visual-e-medidas-dinamicas-de-avaliacao.html.
- Rea, M. S., y Figueiro, M. G. (2016). Light as a circadian stimulus for architectural lighting. *Lighting Research and Technology*, 1-14. <https://doi.org/10.1177/1477153516682368>.
- Reinhart, C. (2014). *Daylighting Handbook I: Fundamentals designing with the sun*. Building Technology Press.
- Reinhart, C. F., y Wienold, J. (2010, 11-13 de agosto). *The Daylighting Dashboard: a simulation-based design analysis for daylit spaces*. Fourth National Conference of IBPSA-USA, New York.
- Resolución 18 0540 de 2010 [Ministerio de Minas y Energía]. (2010, 30 de marzo). Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado público. <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/20729-7853.pdf>.
- Rockcastle, B. S., y Andersen, M. (2015). *Visualizing Perceptual Dynamics in Architecture*. Phoenix, *Bauen Im Bestand* [Archivo PDF]. [file:///C:/Users/asistente.editorial.USBMED/Downloads/Baciu%20article\\_Rockcastle%20and%20Andersen.pdf](file:///C:/Users/asistente.editorial.USBMED/Downloads/Baciu%20article_Rockcastle%20and%20Andersen.pdf).
- van Bommel, W. J. M., y van den Beld, G. J. (2004). Lighting for work: a review of visual and biological effects. *Lighting, Philips*, 4, 255-269. <https://doi.org/10.1191/1365782804li122oa>.
- van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., y Johnson, P. (2010). The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylit office environment. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 7(2), 103-122. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2010.07.02003>.
- Velux Group. (2010). *Daylight, energy and indoor climate basic book* [Archivo PDF]. [http://www.velux.com/~media/com/articles/pdf/deic\\_basic\\_book\\_ver%203-0.pdf](http://www.velux.com/~media/com/articles/pdf/deic_basic_book_ver%203-0.pdf).
- Wasilewski, S., Grobe, L. O., Wienold, J., y Andersen, M. (2019). A Critical Literature Review of Spatio-Temporal Simulation Methods for Daylight Glare Assessment. *Sustainable Design in Engineering of the Built Environment*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.21427/87r7-412>.
- Wong, I. L. (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 959-968. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.061>.

# Estudio de correlación entre la eficiencia del sueño y el ambiente higro-térmico del dormitorio

Correlation Study between the Sleep Efficiency and the Hygro-Thermic Environment in Bedrooms

*Yury Andrea Hernández Duque*<sup>18</sup>

*Elizabeth Parra Correa*<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> Arquitecta, Magister en Bioclimática Universidad de San Buenaventura Medellín, Diseñadora independiente. Correo electrónico: yuandre39@gmail.com.

<sup>19</sup> Arquitecta, Magister en Bioclimática Universidad de San Buenaventura Medellín, Directora de Innovación LaB. Correo electrónico: elizabethparra.arq@gmail.com.

## Resumen

Las personas gastan alrededor de un tercio de su vida durmiendo, sin embargo, los dormitorios han sido diseñados bajo estándares para espacios habitados durante el día. Esto puede llevar a la afectación de la eficiencia del sueño disminuyendo el rendimiento cognitivo y las funciones cerebrales durante el día. Además, el sueño nocturno perturbado puede generar afectaciones en la salud. La presente investigación de tipo exploratorio tiene como objetivo plantear una metodología que permita encontrar correlaciones entre el ambiente higo-térmico de un espacio de dormitorio y la eficiencia del sueño de las personas. Para este fin, se realizó una prueba piloto basada en una aplicación móvil y sensores de temperatura y humedad. Durante cinco días, se estudiaron cuatro sujetos sanos del sueño y en edad adulta, las personas seleccionadas fueron medidas en su entorno de dormitorio cotidiano, para evitar alteraciones en los resultados a causa de espacios u objetos desconocidos.

Los datos se analizaron bajo el método de correlación de Pearson y Spearman, encontrando que la correlación entre la eficiencia del sueño y la temperatura promedio es de 0.2, mientras que entre la eficiencia del sueño y la humedad relativa promedio es de 1; permitiendo concluir de esta primera aproximación, que la humedad relativa es un factor de mayor relevancia en la afectación de la eficiencia del sueño. No obstante, se debe aclarar que esta investigación propone el ensayo de un método a ser replicado en una muestra mayor.

**Palabras Clave:** Ambiente higo-térmico, cotidianidad, dormitorio, eficiencia del sueño.

## Introducción: cotidianidad en la vivienda

La ocurrencia de eventos repetitivos en los espacios donde se coexiste con los demás y la rutina de cada día, crean hábitos particulares en las personas donde

se convive con las circunstancias y con la propia experiencia a lo largo de la vida, debido a que la realidad existe en los lugares donde se vive la vida diaria (Okun, 2019). De ahí la importancia de entender los espacios domésticos, como los ambientes donde la cotidianidad se desarrolla de manera natural (Krippendorff et al., 2017) y donde la arquitectura debe propiciar espacios confortables y saludables para el ser humano.

Uno de los espacios indispensables en la vivienda son los dormitorios, formando parte de la vida privada y del descanso nocturno, donde se estipula, que el ser humano pasa un tercio del día con el fin de relajarse y dormir (Lee, 1997; Nowakowski, 2019; Strøm-Tejsen et al., 2016). Sin embargo, los ambientes térmicos en las viviendas no se han optimizado para este fin y en la mayoría de los países, no se aplican estándares oficiales específicamente diseñados para los dormitorios (The American Society of Heating, 2014). Adicionalmente, se espera que las personas presenten una calidad del sueño óptima, en ambientes que han sido diseñados para realizar actividades en las que los ocupantes se involucran cuando están despiertos (Wargocki et al., 2018).

Así mismo, no es posible considerar el dormitorio como un ambiente estático, por el contrario, puede pensarse que rediseñar el espacio es una acción continua a razón de la adaptación que el usuario hace en el dormitorio al habitarlo. Esto se ve reflejado en los espacios de dormitorios donde a través de la relación entre el sujeto y el objeto el usuario se convierte en diseñador de su propio ambiente (Thackara, 2013).

## Ambiente higo-térmico

Varios investigadores a lo largo de la historia se han concentrado en estudiar el ambiente térmico de los dormitorios, explorando desde los efectos de la temperatura del aire en la termorregulación corporal durante las noches de sueño (Tokura, 1998), hasta la búsqueda de una zona térmica idónea para dormir.

Otros expertos afirman que es difícil quedarse dormido cuando la temperatura del dormitorio es muy fría o caliente (Duffy, 2014; Kim et al., 2010; Pan et al., 2015), en consecuencia, se hace pertinente estudiar más a fondo los ambientes térmicos al diseñar los espacios destinados para el dormir. Hay varios factores que influyen en la comodidad térmica del dormitorio, tales como el nivel de aislamiento de la ropa de cama, la ropa de dormir y los hábitos que se adquieren en las

actividades previas al sueño (Strøm-Tejsen et al., 2016). Además, el sueño de una persona es muy variable a lo largo de varias noches y se ve afectado por factores ambientales como la comodidad del hogar y la rutina (Zaffaroni et al., 2019).

Amrit (2007) realizó investigaciones donde identificó la temperatura ambiente preferida para dormir en 19°C, y la temperatura de la zona de termo-neutralidad en el microclima de la cama en 30°C, es decir, 11°C más alta en relación con la temperatura ambiente. Los sujetos de estudio manifestaban molestias cuando la temperatura ambiente era modificada.

Al identificar en los diferentes estudios que los niveles de temperatura ambiente preferidos son diversos, es importante tener en cuenta la capacidad que tiene el ser humano de adaptarse, para que al propiciar experiencias térmicas en los edificios, se eviten aumentos o disminuciones repentinas de temperatura en el acondicionamiento mecánico de los espacios, con el fin de buscar siempre el confort térmico y la salud de las personas al interior del ambiente construido (Luo et al., 2019).

Las investigaciones mencionadas en los párrafos anteriores tienen en común que han sido desarrolladas en latitudes fuera del trópico donde a razón de las estaciones y los climas extremos, los espacios son acondicionados de forma mecánica, dando relevancia a la presente investigación que se desarrolla en condiciones de clima tropical.

## Eficiencia del sueño

Dormir es esencial para la salud emocional, física y cognitiva del ser humano (Hirshkowitz et al., 2015). El sueño, al igual que los ritmos circadianos tienen relación directa con la fisiología y la salud metabólica. La deficiencia del sueño y la alteración a estos ritmos circadianos tienden a contribuir al aumento de peso, obesidad y diabetes tipo dos, al alterar varias funciones cotidianas como el tiempo y la ingesta de alimentos, el equilibrio energético, la inflamación, el deterioro de la tolerancia a la glucosa y la sensibilidad a la insulina (Depner et al., 2014).

El método objetivo más ampliamente utilizado para medir la calidad del sueño ha sido la polisomnografía que determina variables como el tiempo total de sueño, la eficiencia del sueño y la duración de las etapas del sueño (Krystal y Edinger, 2008). Sin embargo, las condiciones de laboratorio solo pueden aproximarse a las

condiciones del dormitorio. La investigación convencional del sueño solo puede estudiar a los sujetos que duermen en estas condiciones anormales, debido a los múltiples electrodos adheridos al cuerpo, un muestreo continuo de sangre, entre otro tipo de pruebas que se pueden presentar.

Actualmente, las mediciones consiguen ser tomadas por sensores no invasivos que pueden detectar etapas sucesivas del sueño (Wargocki et al., 2018) como es el caso de los relojes o teléfonos inteligentes que por medio del acelerómetro logran obtener datos de eficiencia del sueño y pueden brindar nuevas oportunidades para rastrear comportamientos de manera no invasiva (Aledavood et al., 2019). Por tanto, dicha métrica será la implementada en esta investigación.

Se entiende por eficiencia del sueño (ES) el cociente entre la cantidad de tiempo que una persona permanece dormida en la cama (deduce todo el tiempo de vigilia y la latencia del sueño) y el tiempo total en la cama.

Eficiencia del sueño = Tiempo dormido (Ligero + profundo) / Tiempo total en la cama.

Cuando la eficiencia del sueño es superior al 85% se debe considerar que la persona tiene una calidad del sueño normal (Duffy, 2014). También, Cohen et al. (1983) afirma que si una persona que duerme menos de seis horas, presenta una latencia del sueño (el tiempo entre irse a la cama y quedarse dormido) más de treinta minutos, o se despierta más de 3 veces por noche, esta sufre de mala calidad para dormir.

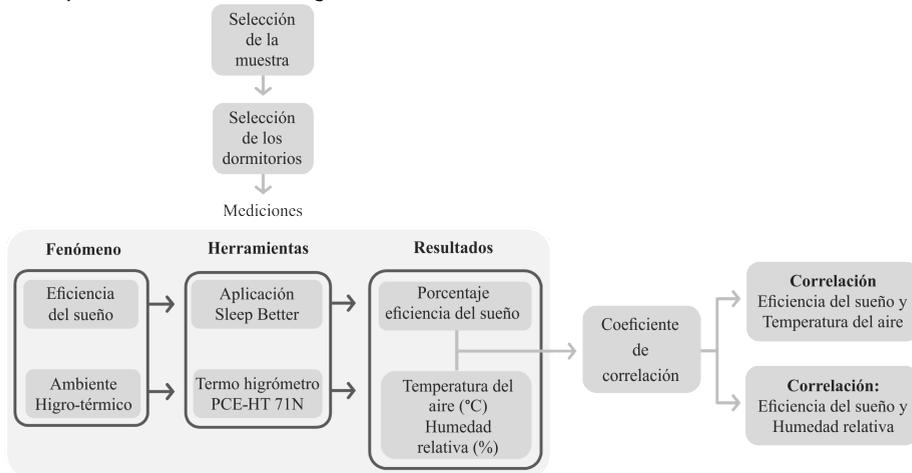
## Metodología

La presente investigación nace de un ejercicio académico realizado durante una asignatura de la Maestría en Bioclimática de la Universidad San Buenaventura seccional Medellín. Donde se propuso como reflexión principal encontrar puntos de conexión entre la experiencia térmica de las personas y la cotidianidad, este ejercicio se inició recopilando datos en un diario térmico de un grupo de voluntarios, como resultado, se obtuvo una base de datos inicial que animó a la construcción de diferentes hipótesis. Entre ellas, la que dio origen a esta investigación que plantea que: existe relación entre la eficiencia del sueño y el comportamiento higró-térmico del dormitorio.

La investigación se desarrolló bajo un modelo exploratorio cuantitativo. A continuación, se describe la metodología propuesta (ver figura 9) para desarrollar un ensayo que permitiera identificar posibles correlaciones entre la eficiencia del sueño y las condiciones higro-térmicas de un dormitorio. Se debe aclarar que, esta metodología hace referencia a un ensayo inicial y se requiere una muestra estadística mayor para obtener resultados definitivos.

**Figura 9**

*Conceptualización metodológica.*



*Nota:* Elaboración propia, 2019.

### Selección de la muestra

Para realizar la prueba piloto se evaluaron cuatro (4) sujetos en edad adulta entre los 27 y los 63 años de edad teniendo como requisito de selección no presentar trastornos del sueño, dar su consentimiento informado para participar en este estudio, no encontrarse en estado de gestación para las mujeres, dormir solos y residir en la ciudad de Medellín, Colombia.

Las mediciones fueron tomadas durante cinco (5) días, entre el sábado 4 y el miércoles de 8 de mayo del 2019 y el intervalo de tiempos responde a la inclusión de días de descanso y días laborales registrados por los sujetos evaluados.

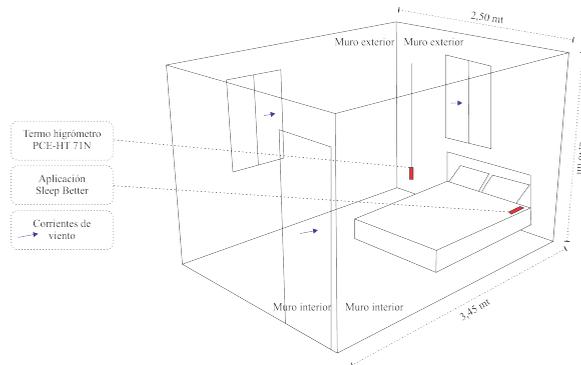
Existen aplicaciones utilizadas en teléfonos inteligentes, las cuales, por medio del movimiento corporal rastrean patrones de sueño como duración y calidad del mismo (Sano, 2016), es por esto que los participantes de los ensayos deberán tener acceso a un teléfono móvil inteligente, con la posibilidad de descargar la aplicación *Sleep Better*, y estar acondicionados a dormir cerca de aparatos electrónicos, de modo tal, que esto no modifique los hábitos de la cotidianidad al dormir.

## Selección de los dormitorios

Los dormitorios seleccionados corresponden a los ambientes que son cotidianos al dormir de cada uno de los sujetos, aquí se considera que la ropa de cama, la vestimenta, y los demás objetos en el dormitorio son una constante que refleja los hábitos de las personas y que hacen parte de la rutina de la manipulación inconsciente de estos objetos durante el sueño.

Figura 10

*Esquema dormitorio 1.*



*Nota:* Elaboración propia, 2019.

En la figura 10 se presenta, a modo de ejemplo, la habitación del sujeto de estudio 1, donde se evidencian las dimensiones del ambiente de dormitorio, la ubicación de los equipos de medición y las corrientes de viento o posibles aberturas de contacto con el exterior u otros espacios, factores que determinan las condiciones higró-térmicas del mismo.

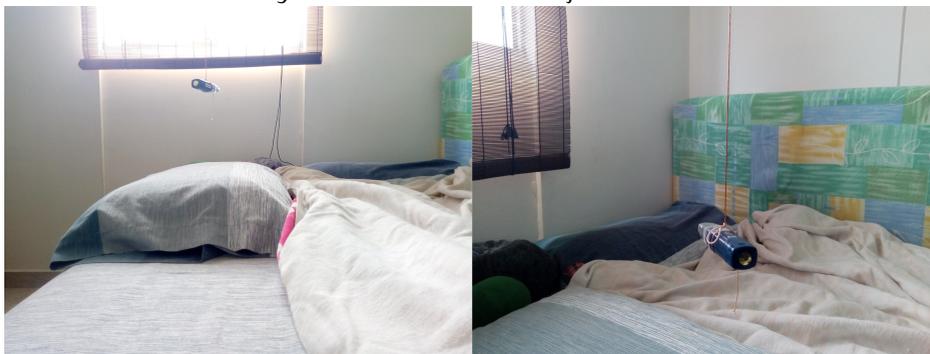
## Mediciones

Se realizaron mediciones sobre tres (3) indicadores principales: el porcentaje de eficiencia del sueño, las condiciones de temperatura del aire y la humedad relativa del dormitorio.

La eficiencia del sueño fue medida a través de la aplicación para dispositivos móviles *Sleep Better*. Esta registra los periodos de tiempo en los que el usuario presenta sueño ligero, profundo o se encuentra despierto, permitiendo la construcción del indicador de eficiencia del sueño. Para utilizar la aplicación *Sleep Better* el celular debe ubicarse debajo de la almohada en el momento de ir a dormir, y solo es necesario activarlo una vez en la noche. Los participantes tuvieron una asesoría de como manipular la aplicación. La evaluación del ambiente higro-térmico se plantea a partir de mediciones de temperatura y humedad cada cinco minutos durante el periodo señalado anteriormente, con sensores PCE-HT 71N localizados a 0.7 m del suelo, y ubicados junto a la cama lo más cerca del cuerpo —sin tocarlo— que sea posible, con el objetivo de medir las condiciones térmicas más aproximadas en las que se encuentra el cuerpo del sujeto, tales como, corrientes de viento por puertas y ventanas, cercanía a algún equipo electrónico generador de calor, re irradiación de muros expuestos al sol durante horas al final de la tarde, entre otros. La figura 11, muestra la ubicación del sensor dentro de uno de los dormitorios evaluados durante el ensayo.

### Figura 11

*Localización de termohigrómetro en dormitorio sujeto 1.*



*Nota:* Fotografía del estudio, 2019.

## Manejo de datos

Los datos obtenidos de la aplicación fueron: La eficiencia del sueño en porcentaje (%) por noche, tiempo total despierto, en sueño ligero y en sueño profundo en minutos (min) y una gráfica de la aparición de los tres estados durante el tiempo total en la cama.

Los sensores tomaron cada 5 minutos los datos correspondientes a la temperatura del aire en grados Celsius (°C) y la humedad relativa del aire en porcentaje (%). Ambos grupos de datos fueron manejados en tablas de Excel y nombrados como se indica a continuación, donde a cada sujeto se le asignó un código alfanumérico que contiene la siguiente información:

Número de prueba – género – edad – Día o noche  
Px-m/h-xx-d/n  
P1-m-27-n

También se construyeron gráficas de cada noche evaluada que permitieron un análisis cualitativo, donde se podían evidenciar relaciones entre los cambios de estado del sueño y el comportamiento de las curvas de temperatura del aire y humedad.

## Correlación

Para encontrar la relación existente entre los datos obtenidos de las mediciones, se utilizó el paquete de análisis de datos estadístico IBM SPSS *Statistics 25*, primero se analizaron las variables para definir si su comportamiento era normal o no, mediante una prueba de normalidad de variables cuantitativas de *Shapiro-Wilk*, por ser el tamaño de la muestra menor a 30 datos. Las variables que presentaron un comportamiento normal se analizaron bajo el método de correlación paramétrica de Pearson y las que no presentaron un comportamiento normal, se analizaron bajo el método de correlación no paramétrico de *Spearman*.

Si el coeficiente de correlación está más cerca de +1 o -1, indica una correlación positiva (+1) o negativa (-1) entre las matrices. Una correlación positiva significa que, si los valores de una matriz aumentan, los valores de la otra matriz también aumentan. Coeficiente de correlación más próximo a 0, indica que no hay correlación o es débil (Hernández Sampieri et al., 2014).

## Resultados

Inicialmente, con el fin de reconocer el funcionamiento de la aplicación y validar que los resultados variaban de usuario a usuario, que correspondían a las experiencias narradas o reconocidas a través de la observación y que la fórmula aplicada de eficiencia del sueño era correcta, se realizaron seis (6) pruebas de ensayo a público variado y en condiciones aleatorias. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos donde se comprueba la variación de los datos entre usuarios y la veracidad de la fórmula aplicada (ver figura 12).

Figura 12

*Prueba de validación de la aplicación Sleep Better.*



*Nota:* Imágenes tomadas de la aplicación Sleep Better.

Posterior a esta validación se realizaron las mediciones definidas durante la metodología. A continuación, se presentan los datos obtenidos durante el periodo de medición, la tabla 6 contiene el código de la muestra, el porcentaje de la eficiencia del sueño, la temperatura del aire y la humedad relativa en promedio por noche. Posteriormente, los datos también serán analizados y por sujeto, obteniendo un total de 20 registros.

**Tabla 6**

*Datos resultantes de las mediciones.*

| Código      | Eficiencia del sueño promedio (%) | Humedad relativa promedio (%) | Temperatura del aire (°C) |
|-------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| P1-5 H63N   | 94.20                             | 72.18                         | 24.81                     |
| P6-10 M63N  | 95.60                             | 72.22                         | 24.80                     |
| P11-15 M29N | 89.40                             | 66.59                         | 26.00                     |
| P16-20 M27N | 85.60                             | 66.48                         | 24.11                     |

*Nota:* Elaboración propia, 2019.

Se presentan algunos indicadores estadísticos de las variables evaluadas, con el objetivo de organizar y caracterizar los datos recopilados (tabla 7).

**Tabla 7**

*Indicadores estadísticos descriptivos de las variables.*

|          |          | Eficiencia del sueño (%) | Humedad relativa (%) | Temperatura del aire (°C) |
|----------|----------|--------------------------|----------------------|---------------------------|
| N        | Válido   | 20                       | 20                   | 20                        |
|          | Perdidos | 0                        | 0                    | 0                         |
| Media    |          | 92.200                   | 69.370               | 24.930                    |
| Mediana  |          | 92.500                   | 70.010               | 24.860                    |
| Moda     |          | 90.000                   | 72.360               | 24.860                    |
| Varianza |          | 33.642                   | 12.898               | 0.717                     |
| Rango    |          | 21.000                   | 12.640               | 3.450                     |
| Mínimo   |          | 78.000                   | 63.210               | 22.910                    |
| Máximo   |          | 99.000                   | 75.850               | 26.360                    |

*Nota:* Elaboración propia, 2019.

Se observa que en el caso de la eficiencia del sueño, el total de los datos se encuentra comprendido entre los valores 78 % y 99 %, con una media de 91.20 %. Para la humedad relativa, entre 63.21 % y 75.85 %, con una media de 69.37 %. Y para la temperatura, entre 22.91 °C y 26.36 °C, con una media de 24.93 °C.

## Estudio correlacional

Dada la cantidad de datos (menos de 30), se utilizó la prueba de *Shapiro-Wilk* y se realizaron pruebas de normalidad para verificar si las puntuaciones obtenidas de la muestra siguen o no una distribución normal (tabla 8).

**Tabla 8**

*Pruebas de normalidad de las variables.*

|                           | Shapiro-Wilk |    |       |
|---------------------------|--------------|----|-------|
|                           | Estadístico  | gl | Sig.  |
| Eficiencia del sueño (%)  | 0.915        | 20 | 0.080 |
| Humedad relativa (%)      | 0.965        | 20 | 0.643 |
| Temperatura del aire (°C) | 0.950        | 20 | 0.367 |

*Nota:* \* Esto es un límite inferior de la significación verdadera. a. Corrección de significación de Lilliefors.

Se puede observar que el nivel de significancia (Sig.) es mayor a 0.05 en cada una de las variables, lo que indica que su comportamiento es normal, por lo que se aplica la correlación paramétrica de *Pearson* (tabla 9).

**Tabla 9**

*Correlación paramétrica.*

|                          |                        | Temperatura del aire (°C) | Humedad relativa (%) |
|--------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| Eficiencia del sueño (%) | Correlación de Pearson | 0.228                     | 0.452*               |
|                          | Sig. (bilateral)       | 0.334                     | 0.045                |
|                          | N                      | 20                        | 20                   |

*Nota:* \* La correlación es significativa en el nivel.

Se realiza la correlación a través del método de Pearson: i) entre el porcentaje de la eficiencia del sueño de cada sujeto y la temperatura del aire de cada dormitorio y, ii) entre el porcentaje de la eficiencia del sueño de cada sujeto y la humedad relativa del aire de cada dormitorio. La humedad relativa del aire y la temperatura del aire no tienen la misma influencia en la eficiencia del sueño. Este primer ensayo de la metodología propone que la temperatura del aire presenta una correlación de 0.228, mientras que la humedad relativa tiene una correlación positiva con la eficiencia del sueño de 0.452.

Finalmente, se realiza el mismo procedimiento, tomando los valores promedio para cada sujeto evaluado, dando como resultado un tamaño de muestra de 4 datos en total por variable, como se evidencia en la tabla 6. A continuación, se utiliza la prueba de *Shapiro-Wilk* para realizar la prueba de normalidad a la muestra (ver tabla 10).

**Tabla 10**

*Pruebas de normalidad de las variables promediadas.*

|                               | Shapiro-Wilk |    |       |
|-------------------------------|--------------|----|-------|
|                               | Estadístico  | gl | Sig.  |
| Eficiencia del sueño (%)      | 0.935        | 4  | 0.622 |
| Humedad relativa promedio (%) | 0.740        | 4  | 0.031 |
| Temperatura del aire (°C)     | 0.913        | 4  | 0.499 |

*Nota:* a. Corrección de significación de Lilliefors.

En este caso, la variable humedad relativa no presenta una distribución normal, por lo que se realiza una correlación no paramétrica a través del método de *Spearman*: i) entre el porcentaje de la eficiencia del sueño de cada sujeto y la temperatura del aire de cada dormitorio y, ii) entre el porcentaje de la eficiencia del sueño de cada sujeto y la humedad relativa del aire de cada dormitorio.

**Tabla 11**

*Correlación no paramétrica.*

|                             |                                    | Temperatura del<br>aire (°C) | Humedad relativa<br>(%) |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Eficiencia del<br>sueño (%) | Coefficiente $\rho$ de<br>Spearman | 0.200                        | 1.000**                 |
|                             | Sig. (bilateral)                   | 0.800                        | 0.000                   |
|                             | N                                  | 4                            | 4                       |

*Nota:* \*\* La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

En este caso, la humedad relativa del ambiente tiene una correlación positiva fuerte con la eficiencia del sueño de 1.00, mientras que la temperatura del aire sigue manteniendo una correlación positiva débil de 0.2 (ver tabla 11).

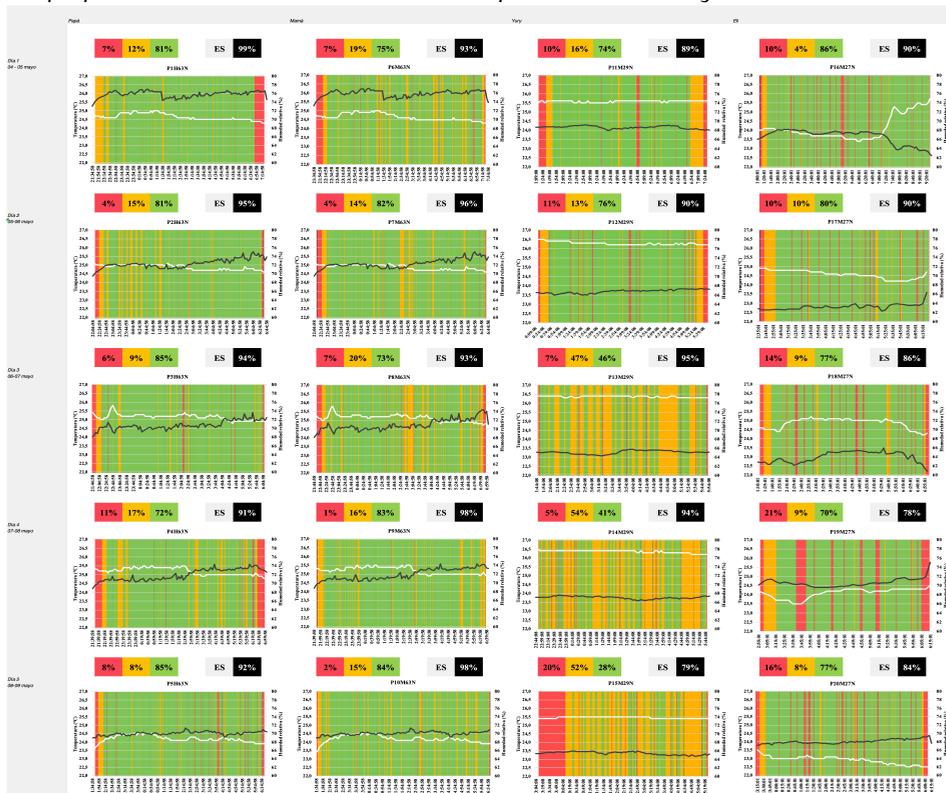
En la siguiente matriz (ver figura 13), se presenta la superposición de los datos de eficiencia del sueño y ambiente higo-térmico de las 20 muestras to-

madras. La gráfica de la eficiencia del sueño señala con las líneas rojas ■ el tiempo que se permanece despierto, con amarillo el sueño ligero ■ y con verde el sueño profundo ■.

Las líneas blancas, corresponden a la temperatura del aire indicada en el eje vertical izquierdo, y la línea gris corresponde a la humedad relativa del aire indicada en el eje vertical derecho. Cada una de las columnas, contiene los cuatro (4) sujetos evaluados y las filas corresponden a las cinco (5) noches medidas.

Figura 13

*Superposición de eficiencia del sueño, temperatura del aire y humedad relativa.*



Nota: Elaboración propia, 2019.

Los resultados obtenidos permiten tener una aproximación a la posible correlación que pueda existir entre la eficiencia del sueño y el ambiente higró-térmico del dormitorio.

Aunque la muestra es pequeña, se puede identificar una tendencia a una correlación positiva alta entre la eficiencia del sueño y la humedad relativa del ambiente, mientras que la temperatura del aire no parece tener mayor relevancia. Lo anterior, aclarando que, en las ciudades tropicales no se presentan variaciones climáticas exteriores extremas como si sucede en los países con estaciones. La aplicación de este método a una muestra mayor permitiría identificar tendencias de comportamiento más allá de la variabilidad del factor humano.

A continuación, se realiza un análisis global de la superposición de las variables en estudio, como se visualiza en la figura 13.

- El sujeto tres (Rango del P11 al P15 M29N), presenta una condición de sueño predominantemente ligero con relación a los otros sujetos. Particularmente el último día de la medición (P15M29N), presenta una latencia del sueño prolongada, sumando un 20% del tiempo despierto, 52% del tiempo en sueño ligero y solo un 28% de sueño profundo. Esta noche se registró la temperatura más baja y la segunda humedad relativa más baja del periodo de prueba.
- El sujeto cuatro (Rango del P16 al P27 M27N), aunque no presenta intervalos de sueño ligero muy prolongados, se despierta repetidamente durante la noche, en más ocasiones que los otros sujetos. Este dormitorio presenta en promedio las temperaturas y las humedades más bajas de toda la muestra.
- La muestra P1H63N, presenta la eficiencia del sueño más alta de todos los datos, con el 99%. Esta, coincide con el porcentaje de humedad relativa más alto registrado correspondiente al 75.85%. En este caso la temperatura del aire se encuentra muy cerca al promedio general sin ser particularmente alta ni baja.
- La temperatura más baja registrada fue de 22.9 °C, y corresponde a la muestra P20M27N. En este caso, la eficiencia del sueño fue 84%, es decir, que se clasifica como mala. La temperatura más alta registrada fue de 26.3°C y corresponde a la muestra P13M29N, en este caso la eficiencia

del sueño fue 95 %, es decir, que se clasifica como muy buena. Lo anterior da un indicio de la preferencia de los usuarios por ambientes cálidos en los dormitorios.

- La humedad relativa más baja registrada fue de 63.2 %, y corresponde a la muestra P17M27N, en este caso la eficiencia del sueño fue 90 %, es decir, que se clasifica como buena. La humedad relativa más alta registrada fue de 75.8 % y corresponde a la muestra P1H63N, en este caso la eficiencia del sueño fue 99 %, es decir, que se clasifica como muy buena. Lo anterior da un indicio de la preferencia de los usuarios por ambientes más húmedos en los dormitorios.
- Finalmente, considerando que la correlación entre la eficiencia del sueño promedio y la humedad relativa promedio fue uno (1) y la correlación entre la eficiencia del sueño promedio y la temperatura promedio del aire fue muy cercana a cero. Se puede indicar que, podría tener mayor relevancia en un dormitorio moderar la humedad relativa del aire que la temperatura, con ánimo de mejorar la eficiencia del sueño.

## Conclusiones y recomendaciones

Una vez realizado el ensayo del método para encontrar la correlación entre la eficiencia del sueño y el ambiente higró-térmico del dormitorio se puede plantear lo siguiente:

- Es posible que el ambiente higró-térmico del dormitorio tenga influencia en la eficiencia del sueño, especialmente la humedad relativa del aire. Adicionalmente, se demostró que es posible aplicar una metodología en ambientes cotidianos, que permita encontrar correlaciones entre el ambiente higró-térmico y los factores humanos en los espacios residenciales.
- Durante el desarrollo del ensayo, se pudo validar que fue posible rastrear el comportamiento humano de manera no invasiva, sin perturbar los factores que influyen en la comodidad térmica del dormitorio, tales como el nivel de aislamiento de la ropa de cama, la ropa de dormir y los hábitos que las personas adquieren en las actividades previas al sueño
- Para futuras investigaciones, se recomienda implementar algún método validado para determinar si las personas que serán medidas presentan un

estado sano del sueño. Igualmente, se recomienda tener una muestra mucho mayor que permita ser validada desde la estadística, considerando especialmente la variabilidad que significa evaluar el comportamiento humano y la particularidad de las condiciones del sueño según la edad y el género.

- Investigaciones futuras podrían validar las condiciones constructivas del espacio de dormitorio, la ropa de cama y las condiciones climáticas exteriores como posibles variables que afectan la eficiencia del sueño y, utilizar sensores de mayor precisión para medir la eficiencia del sueño, como relojes inteligentes que permitan la lectura de datos adicionales como el ritmo cardíaco.
- Se plantea que para futuras investigaciones se podrían considerar otros fenómenos como las condiciones acústicas, lumínicas, de calidad del aire, u otros tipos de temperatura (operativa o radiante).

## Referencias

- Aledavood, T., Torous, J., Triana Hoyos, A. M., Naslund, J. A., Onnela, J. P., y Keshavan, M. (2019). Smartphone-Based tracking of sleep in Depression, anxiety, and psychotic disorders. *Current Psychiatry Reports*, 21(7). <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1043-y>.
- Amrit, U. R. (2007). Bedding textiles and their influence on thermal confort and sleep. *AUTEX Research Journal*, 8(4), 252-254. [http://www.autexrj.com/cm/s/zalaczone\\_pliki/4-07-4.pdf](http://www.autexrj.com/cm/s/zalaczone_pliki/4-07-4.pdf).
- Cohen, D. J., Eisdorfer, C., Prize, P., Breen, A., Davis, M., y Dadsby, A. (1983). Sleep disturbances in the institutionalized aged. *Journal of the American Geriatrics Society*, 31(2), 79-82. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1983.tb05419.x>.
- Depner, C. M., Stothard, E. R., y Wright, K. P. (2014). Metabolic consequences of sleep and circadian disorders. *Current Diabetes Reports*, 14(7). <https://doi.org/10.1007/s11892-014-0507-z>.
- Duffy, V. (2014). *LNCS 8529 – Digital Human Modeling: application in health, safety, Ergonomics and risk management*. Springer.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, M., del P., Méndez Valencia, S., y Mendoza Torres, C. P. (2014). *Metodología de la investigación*. MacGraw-Hill.
- Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., Hazen, N., Herman, J., Katz, E. S., Kheirandish-Gozal, L., Neubauer, D. N., Donnell, A. E. O., Ohayon, M., Peever, J., Rawding, R., Sachdeva, R. C., Setters, B., Vitiello, M. V., Ware, J. C., y Hillard, P. J. A. (2015). National Sleep Foundations sleep time duration recommendations: methodology and results summary. *SLEH*, 1(1), 40-43. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.010>.
- Kim, M., Chun, C., y Han, J. (2010). A study on bedroom environment and sleep quality in Korea. *Indoor and Built Environment*, 19(1), 123-128. <https://doi.org/10.1177/1420326X09358031>.

- Krippendorff, K., Merzali, O., y Timur Ogut, S. (2017). How do user stories inspire design? A study of cultural probes ozge merzali celikoglu. *Design Issues*, 33(2), 84-98. [https://doi.org/10.1162/DESI\\_a\\_00441](https://doi.org/10.1162/DESI_a_00441).
- Krystal, A. D., y Edinger, J. D. (2008). Measuring sleep quality. *Sleep Medicine*, 9(SUPPL. 1), 10-17. [https://doi.org/10.1016/S1389-9457\(08\)70011-X](https://doi.org/10.1016/S1389-9457(08)70011-X).
- Lee, K. A. (1997). An overview of sleep and common sleep problems. *ANNA Journal*, 24(6), 614-625. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9444102/>.
- Luo, M., Ke, Z., Ji, W., Wang, Z., Cao, B., Zhou, X., y Zhu, Y. (2019). The time-scale of thermal comfort adaptation in heated and unheated buildings. *Building and Environment*, 151, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.042>.
- Nowakowski, P. (2019). Ergonomics in functional and spatial shaping of bedrooms. *Advances in Human Factors, Sustainable Urban Planning and Infrastructure*, 788, 100-110. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94199-8>.
- Okun, S. (2019). The Missing Reality of Real Life in RealWorld Evidence. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 106(1), 2017-2019. <https://doi.org/10.1002/cpt.1465>.
- Pan, L., Lian, Z., y Lan, L. (2015). Investigation of sleep quality under different temperatures based on subjective and physiological. *HVAC & R Research*, 18(5), 1030-1043. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10789669.2012.667037>.
- Sano, A. (2016). *Measuring college students' sleep, stress, mental health and wellbeing with wearable sensors and mobile phones*. [Thesis: Ph. D., Massachusetts Institute of Technology, School of Architecture and Planning, Program in Media Arts and Science]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/106066>.
- Strøm-Tejsen, P., Zukowska-Tejsen, D., Wargocki, P., y Wyon, D. P. (2016). The effects of bedroom air quality on sleep and next-day performance. *Indoor Air*, 25(5), 679-686. <https://doi.org/10.1111/ina.12254>.
- Thackara, J. (2013). *Diseñando para un mundo complejo*. Editorial Designio.
- The American Society of Heating. (2014). *ASHRAE Standard 62.1: Ventilation and acceptable indoor air quality in commercial buidings*. Author.

- Tokura, H. (1998). The effect of room temperature on rectal temperature during night sleep. *Journal of Thermal Biology*, 23(1), 15-21. [https://www.elibrary.ru/title\\_about.asp?id=667](https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=667).
- Wargocki, P., Lan, L., Lian, Z., y Wyon, D. P. (2018). Thermal environment, IAQ and sleep. *ASHRAE Journal*, 60(4), 60-63. [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/203787824/Wargocki\\_et\\_al\\_2018\\_ASHRAEJ\\_IAQcolumnsleep.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/203787824/Wargocki_et_al_2018_ASHRAEJ_IAQcolumnsleep.pdf).
- Zaffaroni, A., Coffey, S., Dodd, S., Kilroy, H., Lyon, G., Rourke, O., Lederer, K., Fietze, I., y Penzel, T. (2019). *Sleep staging monitoring based on sonar smartphone technology*. 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Berlín. 10.1109/EMBC.2019.8857033.

# Experiencias didácticas de los estudiantes de arquitectura en modelos tridimensionales para comprender la habitabilidad doméstica

Didactic Experiences of Architecture Students  
on Tridimensional Models for  
Understanding Domestic Habitability

*Ader Augusto García Cardona*<sup>20</sup>

*Elisabeth Herreño Téllez*<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Arquitecto, Especialista en Ergonomía, Master en Tecnologías Avanzadas de Construcción, Doctor en la Ciencias Técnicas, Docente Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Correo electrónico: [agarcia@unal.edu.co](mailto:agarcia@unal.edu.co).

<sup>21</sup> Diseñadora Industrial, Magíster en Ingeniería, Docente de Maestría en Bioclimática de la Universidad San Buenaventura, Colombia. Correo electrónico: [elisabeth.herreno@usbmed.edu.co](mailto:elisabeth.herreno@usbmed.edu.co).

## Resumen

El artefacto tridimensional en la formación de arquitectos tiene como fin la representación y comunicación, puede además permitir la exploración y el análisis de los espacios del proyecto durante el proceso de desarrollo. Sin embargo, los artefactos tridimensionales utilizados en el proceso pedagógico pueden tener otras posibilidades en el análisis de las actividades cotidianas que realizan las personas en el espacio en el que habitan. En este artículo se presenta a través de un método analítico comparativo, la evaluación del uso didáctico de los artefactos tridimensionales, enfocados en el desarrollo de proyectos de espacios domésticos en las asignaturas de *Taller de Diseño* de dos universidades de la ciudad de Medellín. Se encontró que las maquetas o artefactos, continúan siendo usados como objetos de comunicación de la materialidad, enfocados en lo espacial y lo constructivo, y en muy pocos casos sirven para estudiar la habitabilidad del espacio, así como se evidencia la ausencia de los análisis de escala 1:1 que permiten la comprensión de la relación entre el cuerpo de los sujetos, con las actividades de la vida cotidiana en el espacio.

**Palabras Clave:** Hábitat, espacio doméstico, maquetas, enseñanza la arquitectura.

## Introducción

El artefacto tridimensional en la formación de arquitectos se usa con la finalidad de representar y comunicar partes o la totalidad de un proyecto, pueden servir para comparar, analizar, dimensionar, contar, validar o evaluar, durante los procesos de exploración que tiene el estudiante en el proceso de formación. Sin embargo, es limitado el uso que pueden tener para otros propósitos que incluyen lo analítico, lo vivencial y las relaciones del habitar con el espacio. Estas limitaciones de enfoque sumadas al desarrollo de nuevas tecnologías tridimensionales de representación, ha ido reduciendo la comprensión de experiencias sensoriales (adentro, afuera, arriba, abajo, desde, hacia, entre otros), que se generan con la

manipulación de los artefactos tridimensionales, disminuyendo las posibilidades de reflexión crítica y capacidad de resolución de espacios que tienen que ver con la cotidianidad en el mundo de la vida. La ampliación de enfoque en los procesos didácticos del uso de artefactos tridimensionales es fundamental para la formación de un arquitecto, porque amplía las experiencias formativas que complementan formas de simulación, comunicación y evaluación de fenómenos cotidianos. Por otro lado, rompe la hegemonía discursiva de las dos dimensiones, y la traslada a una narrativa de experiencia háptica de los espacios en los que una persona desarrolla su vida.

Ya en el campo profesional de la arquitectura, los artefactos tridimensionales se preocupan por la réplica de modelos iconográficos estereotipados desde la formación, que buscan la comunicación a nivel comercial o de impacto visual. Pero no contemplan la posibilidad de incorporar experiencias sensibles de las actividades cotidianas que realizan las personas en el espacio, asunto que suele resolverse con simulaciones de realidad virtual incentivando la percepción visual sobre las demás.

Se presenta un análisis comparado desde dos escuelas de arquitectura, que coinciden en la intención de expandir el sentido de los artefactos tridimensionales que se usan actualmente en la formación, limitada sólo a la relación de la materialidad con lo espacial, lo constructivo y en muy pocos casos con la habitabilidad. Se evalúa el potencial didáctico de dichos artefactos tridimensionales para la enseñanza de fenómenos relacionados con la habitabilidad, y se presentan opiniones críticas por parte de los autores que no pretenden hacer juicio de valor de las actividades realizadas en ambas asignaturas, sino por el contrario abrir el debate pedagógico al respecto.

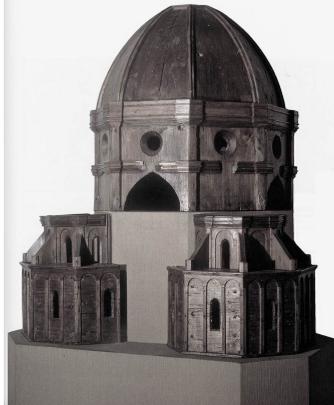
### **Los artefactos tridimensionales y la enseñanza de la arquitectura**

La maqueta ha sido considerada una herramienta fundamental en las escuelas de arquitectura en todo el mundo, ha acompañado los desarrollos de enseñanza a través de los diferentes momentos históricos de la arquitectura misma. La maqueta que *Brunelleschi*, construye para ilustrar una alternativa técnica del domo de la catedral de *Santa María de las Flores* en Florencia (*Wilton-Ely, 2006*), fue utilizada como herramienta de convencimiento para la comisión encargada de llevar a cabo la obra y evaluar su factibilidad constructiva (ver figura 14). La oportunidad de comprensión que la maqueta ofrece al constructor y a los obser-

vadores, habilita la conexión mano-ojo, fundamental en la anticipación de lo que será el edificio en la realidad.

#### Figura 14

*Maqueta de la cúpula de Nuestra Señora de las Flores.*



*Nota:* Elaboración propia (adaptado de florencewithguide, 2013)

#### Figura 15

*Ensayos de cargas para la Sagrada Familia hechas por Antoni Gaudí.*



*Nota:* Elaboración propia (adaptado del Blog [Sagrada Familia](#), 2018)

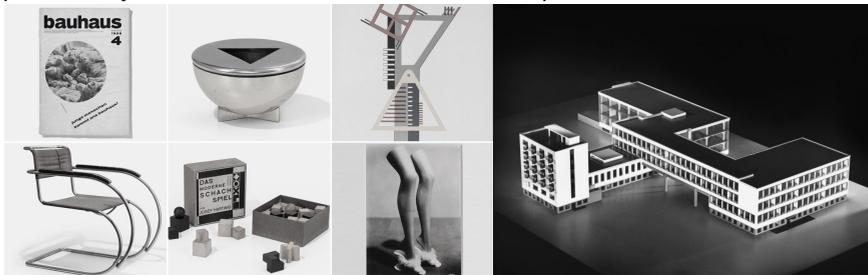
*Gaudí*, a través de sus maquetas, desarrolla una investigación estética-estructural, que opera con la lógica de las cargas y sus deformaciones (funicular de las cargas) en las superficies curvas de sus bóvedas en la *Sagrada Familia*

(ver figura 15). La instalación de cordeles y pequeños sacos con arena, fueron utilizados para definir la transmisión de las cargas estructurales de su edificio. En este caso, la maqueta ya no opera sólo como artefacto de comunicación y se traslada al campo de investigación técnica, las instalaciones de *Gaudí* se usan como partes del sistema a escala de lo que puede ocurrir en la realidad. De la maqueta se obtiene otro tipo de información cuantitativa, que resuelve de manera ágil y económica dudas o problemas que se pudieran tener en la obra.

Ya entrado el siglo xx y de la mano de las especulaciones estéticas disruptivas vinculadas a nuevos conceptos de aprendizaje de la arquitectura como la Bauhaus, aprender haciendo, se reconoce el valor de la manufactura como acto didáctico: cortar, pegar y armar, son acciones reconocidas como parte fundamental de la conciencia de hacer algo nuevo (ver figura 16).

**Figura 16**

*Izquierda: objetos de la Bauhaus. Derecha: La maqueta del edificio de la Bauhaus.*



*Nota:* Elaboración propia (adaptada de <https://www.infobae.com/america/cultura-america/2019/04/02/a-cien-anos-de-la-bauhaus-demasiado-moderna-para-su-propio-bien/-www.fenarq.com>).

De la Cova Morillo-Velarde (2016) en su tesis doctoral, hace una reflexión sobre las distintas aproximaciones que la obra de *Le Corbusier* tiene con las maquetas, en primer lugar, distingue dos grandes agrupaciones de sus modelos, por un lado, las volumétricas, objetos próximos a la escultura, que indican interés por las texturas, la mirada externa, la plástica del edificio en su carácter formal. Por otro lado, las maquetas interiores, óseas, esqueléticas, asociadas con otro tipo de intención, esta vez más cercano a la materialidad y posibilidades constructivas del proyecto (ver figura 17).

## Figura 17

*Le Corbusier y sus estudios sobre maquetas.*



*Nota:* Behance (2016)

Coincide el autor en la importancia que *Le Corbusier* le otorga a la dupla mano-ojo, como una herramienta sensible que involucra el sentido háptico al proceso del diseño. Manipular un objeto complementa información que el dibujo o la perspectiva no alcanza a presentar. La experiencia táctil de la maqueta y el ojo ávido por conocer, relación dialógica en la que el artefacto y su interlocutor se construyen simultáneamente. [García \(2018\)](#), se pregunta por el gesto de bajar la mirada con un acto consiente de estar dispuesto a conocer, a saber, más del objeto expuesto (ver figura 18).

## Figura 18

*(a) Mies Van der Rohe y la casa Farnsworth. (b) Mies van der Rohe corrigiendo a un alumno en el Illinois Institute of Technology IIT, Chicago.*



*Nota:* Elaboración propia, adaptado de [García \(2018\)](#) y art.com.

En el texto *Pensar con las Manos* (2009), *Campo Baeza* propone la cercanía entre las ideas y sus formas de ser representadas, en el capítulo sobre la *Medida de las Ideas*, dibuja una línea de conexión entre la gravedad y el espacio, y la luz y el tiempo, cualidades intrínsecas a la materia que se puede ajustar a la experiencia sensible del cuerpo que toca, mira y manipula.

Resulta natural plantear que las ideas concretas, que además pueden ser tomadas por las manos, también pueden ser comprendidas, ajustadas y transformadas, a diferencia de lo que puede ocurrir con los objetos tridimensionales realizados por computador o la realidad aumentada, en los que el “ocularcentrismo” como lo describe *Pallasmaa* (2014), ratifica el ojo como la posibilidad jerárquica de interactuar con lo que se diseña y atenúa la posibilidad de otras lecturas y aprendizajes multisensoriales, que a diferencia de disciplinas como el diseño industrial, si deben hacerlo.

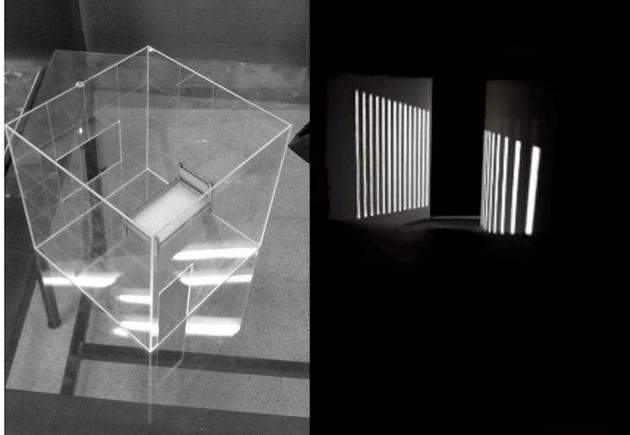
Los espacios académicos de las escuelas de arquitectura usan la maqueta más como un complemento a la entrega del proyecto que como un instrumento de ayuda pedagógica, en muchos de los casos las maquetas no son usadas de manera consciente como elemento fundamental de la pedagogía propia en la formación de un arquitecto. Sin embargo, se da el caso de las maquetas de estudio, modelos construidos y usados para hacer comprender algún fenómeno explícito durante el proceso de diseño (ver figura 19).

Otra alternativa es la maqueta que hace abstracciones formales y de detalle, y se concentra en la volumetría formal y su relación de emplazamiento, el objetivo es encontrar la coherencia entre la masa objeto que representa el proyecto y la masa soporte que lo recibe, como se visualiza en la figura 20 y figura 21.

En los campos de las ciencias y la tecnología, las maquetas se construyen con el propósito de emular condiciones de la realidad que pueden ser medibles (ver figura 22), dan cuenta de procesos y se refieren a intenciones parciales, verificación, posibilidad; son para estudiar y hacer preguntas que sólo se resuelven con la manipulación y la observación:

## Figura 19

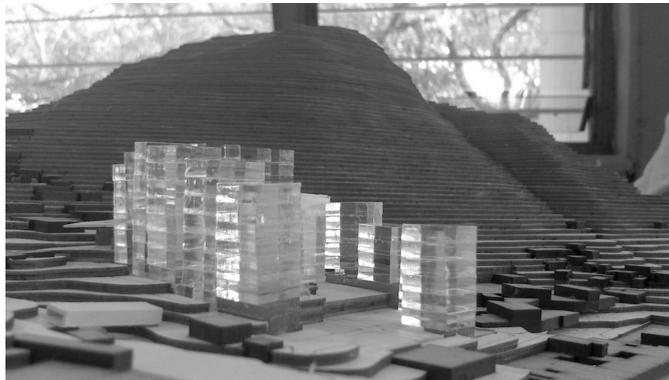
*Izq. Maqueta estudio sobre la cama y la habitación. Énfasis en Arquitectura bioclimática. Der. Maqueta de Atmósferas taller 3. Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.*



*Nota:* Elaboración propia.

## Figura 20

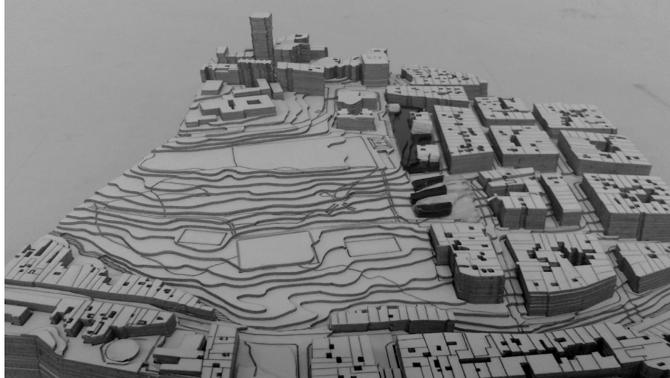
*Maqueta proyecto final en altura, taller 7 Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.*



*Nota:* Elaboración propia.

## Figura 21

*Maqueta urbana proyecto final en altura, taller 7 Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.*



*Nota:* Elaboración propia.

## Figura 22

*Maqueta estudio sobre la iluminación natural. Énfasis en Arquitectura Bioclimática. Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.*



*Nota:* Elaboración propia.

Otras aproximaciones a los artefactos tridimensionales ofrecen la posibilidad de ejercicios sensibles a procesos conceptuales donde la manipulación ya no es sobre partes y elementos de un edificio, sino componentes de una idea compues-

ta por contexto, condiciones fijas y variables operables en el esquema. Dentro de la Maestría en Bioclimática de la Universidad de San Buenaventura, se han probado estos “artefactos mentales”, denominados así por su condición de construcción articulada a procesos de causa-efecto de sus autores (ver figura 23). Estos artefactos han producidos replicas en cursos de pregrado en arquitectura, donde a partir de ellos se infieren procesos de relación de variables, causalidad, simultaneidad y puesta en común de la interrelación entre las observaciones.

### Figura 23

*Artefactos Mentales. Curso de bioclimático pregrado de arquitectura. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura, Medellín.*



*Nota:* Fotografía de Elizabeth Parra, 2019.

## La habitabilidad un hecho comprensible desde lo tridimensional

### El cuerpo como dimensión espacial y la habitabilidad

En la enseñanza de la arquitectura, la relación del espacio con el cuerpo es fundamental para entender relaciones de posición y ubicación de los elementos y objetos que hacen parte de la vida diaria, a la postre la habitabilidad. La simulación del espacio y su relación con el cuerpo hace necesaria la tercera dimensión en las formas de reflexión y entendimiento, puntos de tensión espacial (encima, atrás, debajo), que relativizan la experiencia del observador quien puede decidir sobre las formas de mirar y entender lo que ve.

La construcción de espacios desde la antigüedad ha estado basada en las proporciones del cuerpo (ver figura 24), son muchos ejemplos de civilizaciones que construyeron cánones de proporcionalidad a partir del cuerpo humano: los faraones, los griegos, los romanos, la edad media y hasta el renacimiento (Neufert, 1995).

Figura 24

*Canon de Policleto y Canon de Lisipo.*



*Nota: La nube artística (2015).*

La industrialización hizo posible el surgimiento de la vivienda en masa, necesaria para albergar grandes comunidades de obreros que trabajaban en las grandes factorías, la vida cotidiana fue la preocupación de arquitectos y autores, reconocidas son las propuestas de los utopistas del siglo XIX: el falansterio de Fourier o las colonias obreras de Owen, preocupados por crear comunidades humanas organizadas en estructuras de convivencia en torno a edificios o espacios dispuestos para cada función social. De la vivienda obrera se comienzan los trabajos por el cuerpo como dimensión, el cuerpo adaptado a los espacios de todos los días.

En 1926, *Ernst Neufert* desarrolló un esquema de las dimensiones del ser humano y el espacio necesario para desarrollar actividades cotidianas (ver figura 25), que ayudaba al proyectista a determinar el espacio necesario entre paredes, según la posición del cuerpo, según el habitáculo, entre otros (Neufert, 1995).

Figura 25

*Dimensiones del ser humano y el espacio necesario.*



Nota: (Neufert, 1995).

En 1946, Le Corbusier presenta el *Modulor* (ver figura 26) como un sistema de medidas que podía gobernar sobre las longitudes, las superficies y los volúmenes y mantener la escala humana en todo un sistema constructivo de prefabricación (Ching, 2010).

Las representaciones bidimensionales han llevado a una aplicación desde la perspectiva de un hombre promedio, que no necesariamente corresponde a las realidades de determinada sociedad, es por esto que se han buscado otras aproximaciones tridimensionales que involucren el cuerpo para el análisis de las actividades, denominados *prototipos rápidos* (Milton y Rodgers, 2013). Buscando superar el dimensionamiento básico establecido en el dibujo, para llevar al proyectista a recrear la experiencia.



lo que ocurre en los ámbitos del taller de proyectos parece estar restringido a la maqueta de lo doméstico. Con el ánimo de aproximar esa hipótesis a casos específicos desde la disciplina de la arquitectura, se hizo un análisis comparado sobre la manera de tratar el tema de lo doméstico y el papel de la tridimensionalidad en ello, en dos escuelas de arquitectura con diferencias conceptuales, ambas están ubicadas en la ciudad de Medellín, Colombia.

## Metodología

### Lo tridimensional en lo doméstico. Abordaje académico

Se presentan a continuación dos asignaturas de *Talleres de Proyectos* de arquitectura que tienen en común el tema de la casa y lo doméstico, esos programas son: *Pregrado de Arquitectura* de la Universidad de San Buenaventura y la Universidad Nacional de Colombia. Para mayor comprensión y para poner en contexto ambas experiencias se hace una breve descripción del plan curricular de cada programa y la ubicación epistemológica de la asignatura en el mismo.

**El plan curricular de arquitectura Universidad Nacional de Colombia sede Medellín** se enmarca dentro las políticas de la educación pública en el país, ese perfil público se hace evidente en las circunstancias de debate, contradicción y tolerancia, pero también alberga las manifestaciones políticas extremas que circundan las prácticas académicas con un claro enfoque por la libertad de opinión, la sensibilidad social, la pluralidad y el anclaje de preguntas sobre el espacio desde el medio ambiente, la equidad, la ruralidad y el posconflicto, sin escapar de ellas, las reflexiones por las nuevas formas de vida en sociedad que tocan la vivienda. Esa demarcación conceptual está asociada a las libertades de expresión y desarrollo de la personalidad, en otras palabras, a la conciencia política del cuerpo como espacio de derechos y deberes.

El plan curricular del programa de pregrado de arquitectura se estructura desde tres componentes: la fundamentación entendida como el espacio de la introducción al ámbito universitario y disciplinar, componente disciplinar referido a los contenidos y espacios pedagógicos propios de la arquitectura, y un componente disciplinar optativo en el que se permite al propio estudiante especializarse en algún campo disciplinar que le interese (ver figura 27).

## Figura 27

*Ubicación de asignatura de hábitat en el programa de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.*



*Nota:* Elaboración propia, adaptado del Proyecto Educativo del Programa, 2013.

**El plan curricular de arquitectura en la Universidad de San Buenaventura Medellín** como “institución de educación superior que, desde sus principios católicos y franciscanos, presta servicios educativos para formar integralmente al ser humano y contribuir a la transformación de la sociedad” (Universidad de San Buenaventura, 2017, p. 2). El programa de arquitectura se centra en la formación de un profesional integral para desempeñarse como arquitecto en comunión con el ser Bonaventuriano, “quien desde su obra aporta de forma crítica, reflexiva, creativa y ética al mejoramiento de la calidad de vida del hombre, en su entorno material, simbólico y social” (Universidad de San Buenaventura, 2011, p. 7).

En la reflexión permanente para el mejoramiento de las actividades académicas, así como en la construcción del nuevo plan de estudios, se han integrado contenidos que complementan y amplían la formación del arquitecto *bonaventuriano* desde una perspectiva humanista. Estos ajustes se han realizado a nivel microcurricular, especialmente en la comprensión del habitar desde los aspectos antropológicos y sociológicos, en coherencia con la misión institucional centrada en el ser humano para contribuir a la sociedad.

La estructura del programa de Arquitectura se divide en tres núcleos: el núcleo básico, núcleo de profesionalización, y núcleo contextual. El tema del hábitat se encuentra establecido en la primera parte del ciclo disciplinar donde se tratan los temas de diseño de vivienda (ver figura 28).

## Figura 28

*Ubicación de asignatura de vivienda en el programa de Arquitectura de la Universidad de San Buenaventura Medellín.*



*Nota:* Adaptado del Proyecto Educativo del Programa, 2011.

En ambas estructuras curriculares el tema de lo doméstico se ubica en las etapas tempranas de la formación del arquitecto, se reconoce el ámbito de la casa como espacio fundamental en la arquitectura y la vida de las personas, allí coinciden ideas más complejas como familia, sociedad, lo íntimo y lo privado. Sin embargo, existe una marcada diferencia conceptual por lo doméstico, mientras en la universidad pública se construye desde las libertades personales y el derecho a su propio desarrollo, en la universidad privada, se trabaja desde la persona como ser social con derechos y deberes colectivos.

En la asignatura en la Universidad Nacional de Colombia, el tema de lo doméstico es tratado en el componente disciplinar al inicio del segundo año, en la asignatura Proyectos 3 (ver figura 27). Tiene como objetivo general:

Introducir al (la) estudiante en la formulación del proyecto arquitectónico residencial de escala doméstica, por medio de la experimentación, en una primera parte, en torno a las nociones de atmósfera espacial, dispositivo formal y ritual doméstico, y a través de ejercicios de adiestramiento, y luego, en una segunda parte, en torno al diseño de una casa, comprendiendo las nociones de: sitio y lugar, unidad de habitación, unidad de agrupación, sistema tipológico arquitectónico, jerarquía espacial, determinantes del sitio, construcción del lugar, estructura espacial interna, tectonicidad y lenguaje arquitectónico; y claro, aplicando lo aprendido en la primera parte del semestre. (Escuela de Arquitectura, 2019, p. 1)

Se puede destacar del objetivo la localización con el ciclo introductorio, lo que da argumentos para identificar el ámbito de la casa como un tema fundamental en la preparación disciplinar del arquitecto, en segundo lugar, se señala la experimentación como eje metodológico que se apoya en las experiencias propias de los estudiantes, en las que se traen al espacio del Taller, las propias vivencias de los estudiantes en sus espacios cotidianos.

Con un enfoque fenomenológico, el curso inicia con la idea de la atmósfera espacial circunscrita a sensaciones e impresiones producidas por la combinación de planos, luces, texturas y un punto de vista, la experiencia voyerista empieza con la vista como canal de comunicación del espacio y la intención. En una maqueta conceptual cada estudiante intenta representar una atmósfera.

El estudiante aborda la comisión de una tarea manual que exige la sensibilidad para comunicar una experiencia significativa conectada con lo doméstico, en el caso de la figura anterior, el uso del yeso compromete el efecto de la luz sobre las superficies terrosas, versión estereotómica que no hubiese sido posible con el uso de otro material, la mano y el ojo en conjunción (ver figura 29).

### Figura 29

*La Atmósfera.*

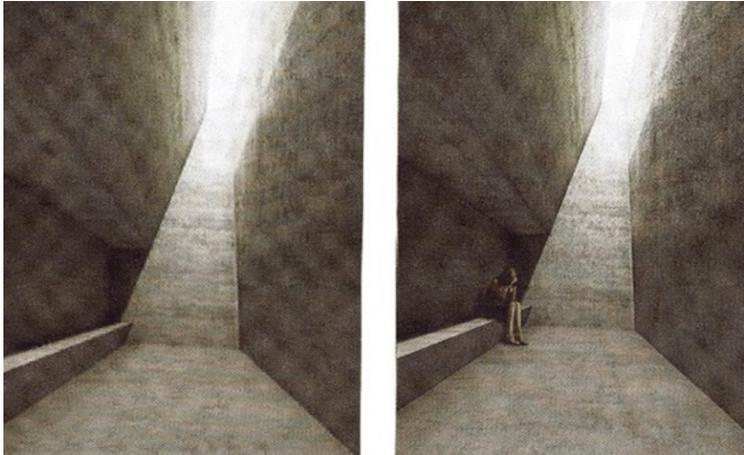


*Nota:* Trabajo de Yeiner Peralta, Estudiante Proyectos 3, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional, Técnica yeso (2019).

En otro ejemplo, la atmósfera está complementada por la figura humana ubicada en circunstancia con la propuesta espacial que le rodea, esta reflexión obliga al estudiante a enfatizar en el papel protagónico de la experiencia de la vida en el espacio, desliga la perspectiva voyerista e incluye un protagonista que cuenta una historia. El ejercicio intimista conecta el contenido con el contenedor (ver figura 30).

### Figura 30

*La Atmósfera en relación con la figura humana.*



*Nota:* Ricardo Chavarría, Estudiante Proyectos 3, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional, Cartón y papel (2019).

En un segundo momento del curso, los estudiantes prefiguran la casa como una agrupación de experiencias de vida concentradas en dos escenarios claramente distinguidos: el santuario conectado con la experiencia de los sueños y los ritos de la limpieza y el agua, la habitación, el cuerpo que duerme, ama, sueña y muere en la cama. Y el Taller, asociado con las acciones de lo doméstico en las que intervienen procesos de transformación, manipulación, acción, por ejemplo, cocinar como acto alquímico de transformación. El santuario y el Taller, son actos concretos en el cuerpo y son testimonio de los procesos tal como lo manifiestan los mismos profesores: los recursos empleados por los estudiantes fueron en su mayoría cartón y fotografías de paisajes naturales que se adosaban

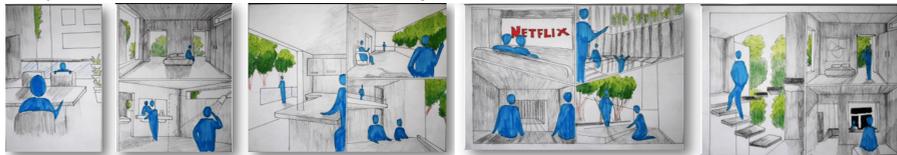
a la cara externa de perforaciones hechas en las maquetas. Hubo control sobre las proporciones y la escala humana.

Esa aproximación tiene por objeto la construcción de un guion para la casa, lo que obliga al pensamiento tridimensional, limitando las vistas áreas en planta y la inclusión del cuerpo en la escena. Si bien el cuerpo valida las experiencias cotidianas, ese cuerpo es bidimensional, se vale de la perspectiva siguiendo la línea del estudiante como observador, no como partícipe del espacio que propone.

Hay una extrapolación del cuerpo que crea el espacio, es decir, el estudiante y el cuerpo que habita el espacio doméstico diseñado, que se limita a siluetas bidimensionales que se colocan como accesorios de la imagen, como se ve en la figura 31.

**Figura 31**

*Dibujos de los rituales del santuario y el taller en la casa.*



*Nota:* Jordy Pineda Bellido, Estudiante Proyectos 3, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, (2019).

Las maquetas utilizadas para esta etapa se usan para comunicar, describir los espacios que componen la casa, pero no se hacen pensando en las acciones de vida de las personas para las que realizan el diseño, la figura humana carece de rasgos propios de su condición existencial, no hay gesto corporal o acontecimiento. Los documentos de [Xavier Fonseca](#) *Las Medidas de una Casa* (1994) y [Julius Panero](#) *Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores* (1996), acompañan este proceso en el que se incluye la antropometría, las relaciones funcionales del cuerpo y el espacio mediados por la función específica, es decir, referencias bidimensionales de los cuerpos tridimensionales, generalmente figuras esbeltas vistas de lado que posan para comprobar su acoplamiento con un mueble o en determinada situación.

El ejercicio finaliza con una propuesta de una casa que se representa en planta, y dibujos bidimensionales en los que no está presente el cuerpo como modulador del espacio. La simplificación de lo doméstico se vuelve escenográfica, las figuras humanas son siluetas bidimensionales, homogéneas, inexpresivas, al parecer para cumplir con una verificación proporcional de los espacios propuestos. Además, la ausencia del mobiliario restringe la lectura de lo doméstico, los espacios parecen salas de museos y no habitaciones o cocinas donde la vida se hace rutina. La escala utilizada para presentar las maquetas (1/100) presenta otro inconveniente, inutiliza la percepción introspectiva que se había sugerido en el primer ejercicio de la atmósfera, más cercano a la experiencia fenomenológica de vivir en una casa, seguramente que la atmósfera podría ser un elemento fundamental en esta etapa del proceso (ver figura 32).

Figura 32

*Maqueta final de la casa.*



*Nota:* Valentina Ospina Córdoba, Estudiante Proyectos 3, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional, Cartón y papel (2019).

**La asignatura en la Universidad de San Buenaventura Medellín.** El tema de lo doméstico se aborda en el primer taller del ciclo disciplinar, en la asignatura *DISEÑO 4*. Esta asignatura de acuerdo con lo establecido en los documentos curriculares tiene como propósito “Identificar, definir e implementar la gramática de la arquitectura, sus conceptos para crear una postura espacial que comprenda

lenguajes, composiciones, sistemas” (Facultad de Artes Integradas, 2011, p. 2). Sin embargo, para ampliar la información se realizó una entrevista al docente Felipe Villa Montoya (2020), en la que se indagan por los contenidos de la asignatura, evidenciando un “currículo oculto” que permite hacer evidentes otros contenidos y abordajes metodológicos que no son evidentes en los documentos del programa.

La actividad del estudiante se plantea desde la construcción de una idea de la familia clásica como núcleo de una estructura social y las nuevas estructuras de hogar, confrontando al estudiante frente a la desfragmentación que hoy tiene ese núcleo, originada en las nuevas dinámicas culturales y que proponen nuevos retos para la creación del hábitat (cohousing, arrendamientos, otros).

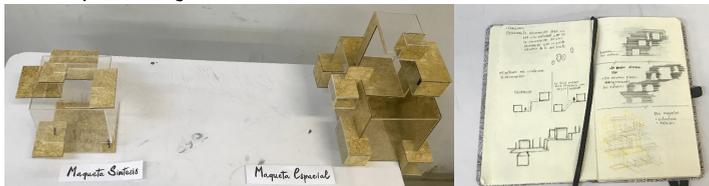
En este proceso los docentes introducen a los estudiantes en habilidades y destrezas disciplinares propias del ejercicio del ejercicio profesional, en el cual se involucran los aspectos intuitivos (imagen, modelo, experiencias propias) con la vinculación del lenguaje técnico que debe apropiarse en ese nivel.

Por otro lado, el ejercicio busca generar un espacio de reflexión en el estudiante sobre las formas de habitar en lo espacial. Se analiza el paisaje formal en el lugar y la mirada contextual desde la experiencia del sujeto, sin tener un límite de recursos para proponer una vivienda de 100 a 200 metros cuadrados. El abordaje del curso se realiza desde el exterior, en concordancia con el principio declarado de la casa como el habitáculo del núcleo de la sociedad, la localización en el mundo es un acto de aprobación social y compromiso plural.

El ejercicio inicia con una fase de análisis, que busca la identificación de elementos físicos estructurantes relacionados con el espacio a intervenir como son vías, alturas, densidades, lenguaje formal de la materialidad del lugar, el clima, los recorridos solares, entre otros aspectos, que son contrastados con las aproximaciones personales de los estudiantes sobre lo que sucede en el barrio, identificando los lugares en relación con el uso. Los análisis de la lectura del lugar se hacen a partir de la mezcla entre cuantitativo y cualitativo, que mezcla los aspectos antropológicos y sociológicos. Se advierte que la noción tridimensional se asume como un objeto inespecífico de relaciones, lo que se denomina maqueta conceptual, en la mayoría de los casos construida como una adición de elementos (tectónica) que suponen enlaces que soportan una idea (ver figura 33).

### Figura 33

#### *Maquetas conceptuales y síntesis.*

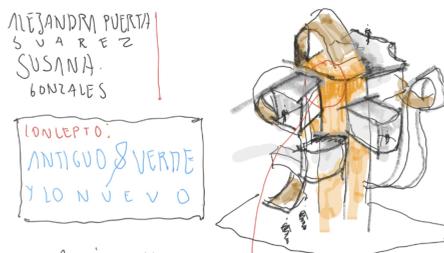


*Nota:* Fotografías Felipe Villa Montoya, 2019. Estudiantes Alejandra Puerta Suarez y Susana González. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura, sede Medellín.

En un segundo momento de desarrollo del ejercicio, el estudiante realiza los primeros acercamientos plásticos de conceptualización que permiten identificar la distribución y usos de los espacios. Es un ideal conceptual que depende de las capacidades adquiridas en los procesos de formación previos, usando representaciones tridimensionales o bidimensionales para expresar los conceptos construidos (ver figura 34). La noción de la función se expresa como una instalación en la que el cuerpo que la realiza posa, pero no usa el espacio, de nuevo la figura humana bidimensional sin alguna indicación de que habita el espacio en el que se instala (ver figura 35).

### Figura 34

#### *Representación de concepto.*



*Nota:* Fotografías Felipe Villa Montoya, 2019. Estudiantes Alejandra Puerta Suarez y Susana González. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura Medellín.

Figura 35

Representación de concepto con la figura humana.

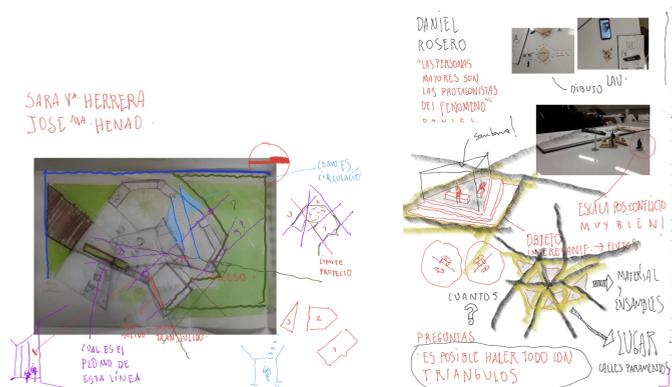


Nota: Fotografías Felipe Villa Montoya, 2019. Estudiante Marco Antonio. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura Medellín.

La tercera etapa busca “geometrizar” las ideas para darle sentido a lo planteado, buscando dar orden a la materialidad desde la perspectiva gráfica. Reconociendo los primeros aspectos de lo dimensional a partir del control formal (ver figura 36).

Figura 36

Organización geométrica del espacio.



Nota: Felipe Villa Montoya, 2019. Estudiantes Sara Herrera, Marco Antonio. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura Medellín.

La cuarta etapa corresponde al anteproyecto, en el que se organizan las formas en términos geométricos y la integración de la materialidad en términos constructivos, así como se retoma la reflexión sobre las condiciones del núcleo familiar para disponer los equipamientos de acuerdo con las necesidades de la vida cotidiana de las personas. Sin embargo, la prefiguración de la vivienda se limita a los aprendizajes previos de la representación que no necesariamente corresponden a los hábitos y costumbres del grupo.

**Figura 37**

*Maquetas revisadas por los docentes en la fase de anteproyecto.*



*Nota:* Felipe Villa Montoya, 2019. Estudiantes Santiago Rivera y Daniel. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura Medellín.

La fase final es la resolución de los detalles, los aspectos táctiles de la arquitectura comprendiendo las actividades, las formas y las proporciones de los elementos constructivos. Esa entrega final incluye toda la información estándar bidimensional, con énfasis en las plantas, donde se propone la relación de funciones, la maqueta se presenta como elemento verificador de la información bidimensional.

## Discusión

### Hallazgos de las asignaturas

Desde las condiciones particulares de cada curso es posible construir algunas hipótesis propias y por lo tanto subjetivas, que alimentan el debate del papel de los objetos tridimensionales en los procesos de la formación de los arquitectos, y en particular, en el ámbito de lo doméstico. Hay que advertir que esas hipótesis no soportan una tesis sólida e ilustrativa de lo que ocurre en algunas escuelas de arquitectura de la región y mucho menos del mundo, pero sirve para proponer la misma pregunta sobre el papel de la tridimensionalidad en ese propósito. En la tabla 12 se presentan de forma ordenada el análisis comparativo analítico desde la percepción de los autores:

**Tabla 12**

*Análisis comparado de los talleres de arquitectura que trabajan el tema de lo doméstico y su relación con la tridimensionalidad.*

| Aspectos de comparación         | Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín   | Universidad de San Buenaventura Medellín  |
|---------------------------------|---|---|
| Enfoque institucional           | Individualista  | Desde la familia  |
| Enfoque de la asignatura        | Fenomenológico  | Sistémico-positivista-idealista   |
| Primer momento de la asignatura | Desde adentro   | Desde afuera  |
| Segundo momento                 | Desde el sujeto en lo íntimo<br>Perspectiva   | Desde afuera<br>La planta   |
| Tercer momento                  | Maqueta como elemento de composición espacial y de proposiciones desde la referencia de un cuerpo sin mueble. | Maqueta como elemento de comunicación sin referencia a la figura humana, pero sin los muebles |

*Nota:* Elaboración propia, 2020.

En primer lugar, los enfoques institucionales presentan posturas distintas frente al papel de la formación de los arquitectos, mientras la universidad pública aboga por el reconocimiento del ciudadano con derechos y deberes, formador de su propio ámbito de vida y reconociendo las diferencias de los congéneres. La universidad privada incentiva la noción social y ética de la familia, núcleo de personas con motivaciones y proyectos colectivos y con deberes frente a la sociedad a la que pertenecen.

En la universidad pública y articulado con el proyecto institucional, la asignatura reconoce la percepción y las sensaciones como elementos que propician experiencias humanas, se puede entender que la lógica de abordaje es desde dentro hacia afuera. El ejercicio de las atmosferas es intimista, uterino, desde una postura profunda e individual pone énfasis en la mirada que se asocia a las cualidades del espacio. Ese ejercicio obliga a los estudiantes a comunicar sus atmósferas desde la tridimensionalidad, pero sin estar incluidos en ellas.

En la universidad privada, el curso inicia con la lectura del lugar con un panorama amplio que incluye características físicas y culturales, la mirada desde fuera limita la tridimensionalidad y transfiere esa aproximación a la producción de documentos bidimensionales que exponen relaciones y no sentimientos. La conexión con el lugar es la conexión con la sociedad, el sistema estructuralista que responde a la dialéctica de dar y recibir entre la casa y el lugar.

### Figura 38

*Áreas generadas por el desplazamiento del cuerpo. Módulo de ergonomía, Maestría en Bioclimática. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura, Medellín.*



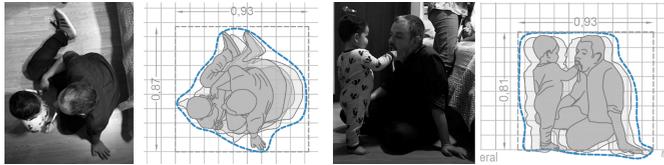
*Nota:* Elaboración propia, 2018.

Durante el desarrollo del curso los protocolos y metodologías se hacen homólogos en ambas instituciones, las operaciones mentales y evolución del proyecto de la casa se decantan por la destinación de espacios según su uso. La hegemonía de las plantas y la mirada desde arriba, suprimen la narrativa de los documentos tridimensionales, es notable que el amoblamiento de la planta reemplaza la acción del cuerpo, el mueble recibe la carga conceptual de la acción

de vida en la cotidianidad. La maqueta vuelve a aparecer en la etapa final del proyecto, con un propósito complementario informativo sobre alturas, técnicas constructivas, acabados y con la simplificación absoluta de la acción que reivindica la cotidianidad.

**Figura 39**

*Análisis de áreas para la obtención de volúmenes de acuerdo con la actividad.*



*Nota:* Trabajo estudiante Juliana Sánchez Maestría en Bioclimática, 2018.

Lo doméstico no puede ser simplificado a lo funcional, la casa no es sólo cocina, comedor, alcoba y baño; debe vincular las experiencias de lo cotidiano, soportado en preguntas de análisis como la diferencia entre el día y la noche, semana y fin de semana, fin de año, vacaciones o cuarentenas (ver figura 39). Para entender lo cotidiano es necesario visualizar la continuidad espacio tiempo de habitar, los análisis de trayectorias permiten volúmenes o envolventes del movimiento del cuerpo para la construcción de espacios tridimensionales (ver figura 40).

**Figura 40**

*Análisis de alcances y movimientos en espacios interiores.*



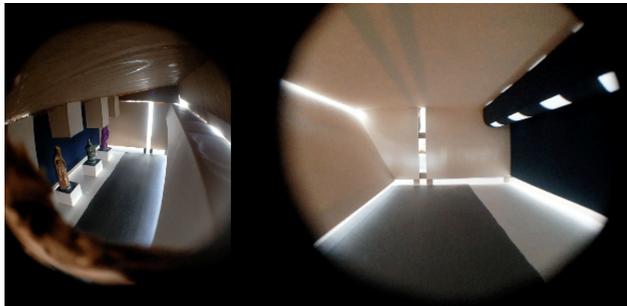
*Nota:* a) Análisis de alcances de miembros superiores para diseñar una cocina. Realizado por estudiantes del Énfasis en Arquitectura Bioclimática. Universidad Nacional de Colombia. b) Análisis de movimientos en un baño con dimensiones mínimas. Realizado en la asignatura electiva de posgrado: Comodidad Ambiental, Universidad de San Buenaventura.

El dimensionamiento es una parte reducida de los requisitos humanos a los que debe responder un espacio, por esta razón, el arquitecto debe considerar en el diseño aspectos de iluminación suficiente, temperatura, humedad adecuada y ruido controlado. La elaboración de modelos apoya la interpretación del fenómeno al que estará expuesto el ser humano, sin embargo, esto ha sido desplazado con el desarrollo de la tecnología con el modelado digital y el renderizado, dado que su elaboración se puede hacer de forma rápida y permite cambios o ajustes hiperrealistas.

Frente a esto, algunos autores manifiestan que el uso de los modelados digitales hacen que el arquitecto pierda visualización, limite las opciones o posibilidades de explorar la forma y se pierdan las sensaciones táctiles de los materiales. Así mismo, se sugieren que el modelo es un elemento de aprendizaje que permite al diseñador devolverse en el proceso y reevaluar el problema (30X40 Design Workshop, 2018).

#### Figura 41

*Modelos para el análisis de iluminación.*



*Nota:* Fotografías Alejandro Ortiz, 2019. Maestría en Bioclimática. Facultad de Artes Integradas, Universidad de San Buenaventura, Medellín.

Los modelos o artefacto tridimensionales permiten generar ideas exploratorias, hacer evaluaciones de uso o interacción o comunicar algunas exploraciones del proceso (Hallgrimsson, 2012). Amplia la visualización de fenómenos a los que se expondrá el ser humano al momento de habitar el lugar (ver figura 41).

En profesiones afines a la arquitectura, se han establecido algunas clasificaciones para los modelos. Por ejemplo, Baxter (1995) clasifica los modelos físicos en modelos de representación estructural (modelos de apariencia, de dimen-

sionamiento, formales, otros), modelos estructurales/funcionales (maquetas para fabricación, producción, otros), y los modelos funcionales (modelos para pruebas, análisis de fenómenos, otros).

Particularmente en el diseño, los artefactos permiten la descripción del producto a través de modelos de apariencia que integran la funcionalidad y las características físicas para ser usado (Evans, 2002). Son herramientas usadas en el proceso de formación y en el ejercicio profesional, que permiten la reflexión sobre las actividades, objetos o el diseño de los espacios en aspectos estéticos, humanos, de mercado y producción (Hallgrímsson, 2012), permitiendo la relación directa con el usuario en maquetas o modelos de escala 1:1.

Es comprensible que, en estas profesiones, el acercamiento en términos de interacción con el usuario sea más directo por la escala de los objetos. Sin embargo, algunas técnicas de estas y otras áreas pueden facilitar la comprensión del espacio desde las actividades cotidianas, llevando al arquitecto a una relación más cercana con las condiciones de uso del espacio. Las maquetas han sufrido procesos en su elaboración que limitan la posibilidad para que un estudiante se enfrente a su “construcción”, las máquinas de corte les permiten “armar” a manera de ensamblaje las piezas de un rompecabezas, eliminando los ajustes o problemas técnicos de firmeza, espesor, materiales o lógica constructiva que antes se lograba. Por otro lado, permiten filigranas en las texturas que no se logran con el bisturí y que trasladan al preciosismo del detalle problemas fundamentales como la luz, el espesor y la materia. Se ha limitado la capacidad de las maquetas para afrontar proyectos estereotómicos de los que se deduce una metodología distinta para su construcción.

## Conclusiones

Es notorio que la postura institucional establece diferencias frente a las maneras de abordar el diseño de una casa, pero en la práctica académica tiende a homologarse y con ella la invisibilidad de las didácticas que usan las maquetas o las experiencias tridimensionales en ese proceso.

La práctica del Taller de Proyectos hace énfasis en las plantas arquitectónicas, lo que limita el aprendizaje de la conciencia del cuerpo: caber, pasar, trasladar, quitar, mover, entre otras, son acciones que no necesariamente tienen que ver con cocinar, comer, dormir o asearse. Hacer ajustes a la manera de

preguntar por lo que se hace en casa desde el cuerpo y no desde la función, habilitan otro tipo de aprendizajes, y si esos ejercicios involucran a los propios estudiantes mucho mejor.

El mueble parece sustituir la acción del cuerpo, y la planta arquitectónica hace lo mismo con la concreción de la casa. Las secciones, fachadas y por supuesto, las maquetas son fundamentales en la expansión de la noción de lo doméstico.

Incorporar al Taller de Proyectos las actividades en escala 1:1, permite que el estudiante comprenda desde su propia corporeidad la relación cuerpo-espacio que se hace presente en la vida cotidiana de lo doméstico.

## Referencias

- 30X40 Design Workshop. (2018). Why Make Architecture Models?
- Baxter, M. (1995). *Product Design: Practical Methods for the Systematic Development of New Products*. Routledge.
- Campo Baeza, A. (2009). *Pensar con las manos*. Nobuko Universidad de Palermo.
- Ching, F. D. (2010). *Arquitectura: Forma, Espacio y Orden*. Gustavo Gili.
- de la Cova Morillo-Velarde, M. Á. (2016). *Objects, proyecto y Maqueta en la obra de Le Corbusier*. Universidad de Sevilla.
- Escuela de Arquitectura. (2019). *Proyectos 3*. Universidad Nacional de Colombia.
- Evans, M. (2002). *The integration of rapid prototyping within industrial design practice*. [Tesis Doctoral, Loughborough University].  
<https://hdl.handle.net/2134/5155>.
- Facultad de Artes Integradas. (2011). *Taller de diseño IV* [Pensum de programa académico de Arquitectura]. Universidad de San Bueaventura.
- Fonseca, X. (1994). *Las medidas de una casa*. Editorial Pax México.
- García, Í. (2018, 28 de mayo). Bajar la mirada. *Verdes:arquitectura y divulgación*.  
<https://veredes.es/blog/bajar-la-mirada-inigo-garcia-odiaga/>.
- Hallgrímsson, B. (2012). *Prototyping and Modelmaking for Product Design*. Laurence King Publishing.
- Historia del Arte. (2013, 21 de junio). Modulo. Le Corbusier/Hombre de Vitruvio. Leonardo Da Vinci. *Historia del Arte*. <http://heikohistoria.blogspot.com/2013/06/modulo-le-corbusier-hombre-de-vitruvio.html>.
- La nube artística. (2015). Buscando la perfección: el canon griego. *La nube artística*. [http://www.lanubeartistica.es/dibujo\\_artistico\\_2/Unidad3/DA2\\_U3\\_T2\\_Contenidos\\_v01/11\\_buscando\\_la\\_perfeccion\\_el\\_canon\\_griego.html](http://www.lanubeartistica.es/dibujo_artistico_2/Unidad3/DA2_U3_T2_Contenidos_v01/11_buscando_la_perfeccion_el_canon_griego.html).
- Milton, A., y Rodgers, P. (2013). *Research Methods for Product Design*. Laurence King Publishing.
- Neufert, E. (1995). *El Arte de Proyectar en Arquitectura*. Gustavo Gili.
- Pallasmaa, J. (2014). *Los ojos de la piel: la arquitectura y los sentidos*. Gustavo Gili.

- Panero, J. (1996). *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Gustavo Gili.
- Sagrada Familia. (2018, 10 de enero). La Sagrada Família, receptacle d'altres projectes de Gaudí. *Blog Sagrada Família*. <https://blog.sagradafamilia.org/divulgacio/sagrada-familia-receptacle-daltres-projectes-gaudi/>.
- Universidad de San Buenaventura. (2011). *Proyecto Educativo Programa de Arquitectura*.
- Universidad de San Buenaventura. (2017). *Resolución de Rectoría General No341*.
- Villa Montoya, F. (2020). *Proceso de desarrollo asignatura Diseño 4 del programa de Arquitectura en la Universidad de San Buenaventura*. Universidad de San Buenaventura.
- Wilton-Ely, J. (2006). La maqueta arquitectónica: Barroco inglés. DC PAPERS. *Revista de Crítica y Teoría de La Arquitectura*, 15, 29-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4022219>.



# Sostenibilidad y vida ciudadana

# Referentes conceptuales y metodológicos relacionados con la sostenibilidad ambiental de la vivienda

Conceptual and Methodological Referents  
Related to the Environmental  
Sustainability of Housing

*Diana Elizabeth Valencia Londoño*<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Arquitecta, Magister en Medio ambiente y Desarrollo, Candidata a doctora en Ciencias Técnicas con énfasis en la dimensión ambiental Docente Investigadora Maestría en Bioclimática Universidad de San Buenaventura, Medellín. Correo electrónico: [diana.valencia@usbmed.edu.co](mailto:diana.valencia@usbmed.edu.co).

## Resumen

Este capítulo presentará en un primer momento, los elementos que configuran el problema de estudio, posteriormente se hará síntesis de los referentes conceptuales de orden internacional y nacional relacionados con los ejes que conforman el problema de la siguiente forma: el sistema habitacional y la sostenibilidad. Se analizarán los modelos o metodologías que permiten evaluar la sostenibilidad ambiental, inicialmente partiendo de la escala macro (territorio), para luego centrarse en presentar las metodologías que, en una escala intermedia (urbana) y micro (arquitectónica y de ambiente interior), proponen una evaluación de la sostenibilidad ambiental en la gestión de la vivienda a nivel internacional y nacional.

**Palabras Clave:** Vivienda social, sostenibilidad, hábitat.

## Introducción

El presente capítulo recoge los resultados de la etapa uno de la tesis doctoral titulada: *Criterios territoriales y urbanos para el planeamiento y evaluación de la sostenibilidad en la gestión de la vivienda social*, la cual tiene por objetivo proponer criterios territoriales y urbanos para el planeamiento y evaluación de la sostenibilidad ambiental en la gestión de la vivienda social (caso de estudio: Medellín) (Valencia, 2021). Lo cual permitirá desde la planeación generar acciones que propendan por incorporar los resultados de dicha evaluación en la toma de decisiones frente a cómo intervenir, cuándo, dónde y qué criterios considerar, en conjunción con una perspectiva ligada al desarrollo sostenible. El producto obtenido de esta etapa es la identificación de atributos por escala y dimensiones a incluir en el sistema de evaluación, a partir de indicadores que evalúan la sostenibilidad ambiental en la vivienda social.

## Metodología

El método de la investigación es cualitativo porque busca a partir del análisis de metodologías de carácter internacional y nacional, correlacionar las categorías, las variables y las dimensiones asociadas a la sostenibilidad ambiental en la vivienda social. El capítulo da cuenta de las siguientes etapas del proyecto de investigación:

Etapa 1. Marco teórico y conceptual.

Etapa 2. Revisión de referentes.

Etapa 3. Análisis de resultados.

### **Referentes conceptuales relacionados con la búsqueda de la sostenibilidad ambiental en la vivienda social**

Como punto de partida para entender el problema a intervenir, se retomarán diferentes conceptos relacionados con el mismo, los cuales condicionan la manera como debe resolverse desde el modelo a proponer. Cada uno de los conceptos que se retomarán aportan determinantes, objetivos y metas a evaluar desde cada una de las dimensiones y escalas de intervención.

#### *Teoría general de sistemas*

Comenzar el proceso de análisis para el desarrollo de la presente investigación, implicará un cambio de paradigma frente a cómo enfrentar la caracterización de un fenómeno complejo de la realidad como lo es la vivienda social, en su relación con el ambiente.

Con el fin de comprender el enfoque sistémico y aplicarlo al problema de análisis se referenciarán tres teóricos: Stafford Beer, Edgar Morin y Mario Bunge, que aportarán la lectura de la realidad como un sistema complejo en el desarrollo teórico y metodológico del problema de investigación. Según Mario Bunge, se denomina sistémica a este conjunto de teorías que se ocupan centralmente de las características estructurales de los sistemas y que, en consecuencia, pueden atravesar las barreras, en gran medida artificiales, erigidas entre disciplinas (Bunge, 2012). Para el caso de esta investigación se busca identificar dichas características, entender el sistema habitacional como un sistema complejo, transgredir las fronteras tradicionales entre disciplinas y proponer un enfoque transdisciplinario, el cual amerita una comprensión de la realidad, entendiendo que la respuesta

a la problemática habitacional involucra diferentes actores y dimensiones que garanticen una respuesta integral, que al final de la misma transforme la calidad de vida y bienestar de quienes son beneficiados por la misma<sup>23</sup>.

El mundo (o el universo) puede ser representado como un sistema o como una colección de muchos sistemas (o subsistemas) que de una forma u otra actúan y se interrelacionan unos con otros dentro de una realidad dinámica. Existe entre ellos un continuo intercambio de energía y se llevan a cabo millares de procesos de conversión. Fuerzas van y vienen. (Johansen, 2015, p. 111)

La aparición en escena de la Teoría General de los Sistemas, supuso un cambio de paradigma en cuanto reconocía la imposibilidad de comprender un sistema sin analizarlo como un todo y no sólo como un conjunto de partes individuales. (Peralta, 2016, p. 122)

### ***La Sostenibilidad ambiental***

Cuando se pretende entender el concepto de sostenibilidad, se hace necesario retomar el propuesto en la cumbre de la tierra de 1992<sup>24</sup>, conferencia de Naciones Unidas que, partiendo de una visión economicista, define el desarrollo sostenible como aquel que garantiza el crecimiento económico, el bienestar social, sin poner en riesgo la conservación y preservación de los recursos naturales para las generaciones futuras.

Un sistema de vida donde la capacidad de alojamiento de los seres vivos sobre la tierra es siempre ascendente, acompañada de unos recursos agotables ante las necesidades crecientes de la población, aunado esto a un crecimiento económico con base en tecnologías contaminantes y consumidoras de mucha energía (que generan miles de

---

<sup>23</sup>“los proyectos de vivienda deben comprometerse con el uso sostenible de los recursos naturales, por esta razón la ubicación, el diseño de los espacios, el aprovechamiento de la vegetación, deben ser pensados para reducir el consumo de energía y de agua, situaciones que contribuyen a la sostenibilidad de los recursos naturales y a la disminución de los gastos de las familias”. (Díaz Reyes y Luna, 2011)

<sup>24</sup>El informe Brundtland planteó “El desarrollo Sostenible implica límites, no límites absolutos, sino limitaciones que el estado actual de la tecnología y de la organización social, así como la capacidad de la biosfera de absorber los efectos de las actividades humanas, imponen a los recursos del medio ambiente”. (Gómez Gutiérrez y Gomez Sal, 2013)

millones de toneladas de desechos que se añaden al ecosistema cada año), conduce de esta manera a que indiscutiblemente la vida sobre la tierra tienda a colapsar, deteriorando la calidad de la vida humana, porque se rebasa la capacidad de equilibrio natural de los ecosistemas que la sustentan. (Zarta Ávila, 2018, p. 413)

Una de las actividades productivas que mayor impacto genera sobre el ambiente, es la actividad constructora, es por esto, que el gremio de arquitectos en el marco del congreso celebrado por la Unión Internacional de Arquitectos en 1993 estableció la corresponsabilidad en la crisis ambiental, por los altos impactos de la industria de la construcción. Adicionalmente, se incorpora un nuevo concepto como directriz de actuación derivado del compromiso del congreso: Adicionalmente se incorpora un nuevo concepto como directriz de actuación derivado del compromiso del congreso donde bajo el concepto de edificación sostenible se busca que desde la perspectiva del diseño sostenible se considere la búsqueda de en el uso de recursos y de la energía, producir edificios sanos, y utilizar materiales ecológicos.

### *Objetivos de desarrollo sostenible*

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible se adoptaron por todos los Estados Miembros de la Organización de Naciones Unidas en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030.

En la figura 42, se observan los 17 objetivos de desarrollo sostenible propuestos como estrategia para lograr en el año 2030 condiciones de sostenibilidad a nivel mundial. Aunque dichos objetivos se vinculan de manera directa con las políticas públicas de las naciones, es importante incluir algunos de ellos en el modelo a proponer, buscando desde la sostenibilidad del hábitat aportar a la sostenibilidad global. De los 17 objetivos planteados los objetivos 1, 6, 7, 11, 13 y 16 presentan desde sus metas e indicadores relación directa con la sostenibilidad en la vivienda.

## Figura 42

*Objetivos de Desarrollo Sostenible.*

*Nota:* La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe, (CEPAL, 2018, p. 3)

*Agenda urbana 2030*

La agenda urbana 2030, es el instrumento a través del cual se materializan los compromisos establecidos por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), para esto define metas e indicadores a través de los cuales evalúa el cumplimiento de los ODS. La Agenda 2030<sup>25</sup> para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 objetivos y 169 metas, integra las dimensiones económica, social y ambiental.

Entre las prioridades de la CEPAL para apoyar la implementación y el seguimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en los países de América Latina y el Caribe, se destacan las estrategias 3 y 4, correspondientes respectivamente a las siguientes acciones:

- Apoyar la integración de los ODS en los planes nacionales de desarrollo y en los presupuestos.

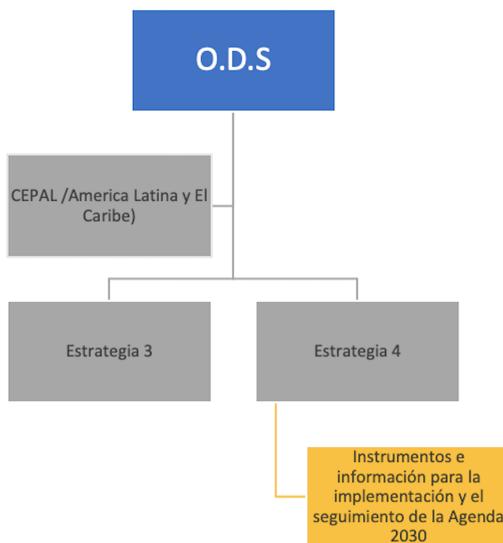
<sup>25</sup>La Agenda 2030 es una agenda transformadora, que pone a la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente. Es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada, que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático. (CEPAL, 2018)

- Promover la integración de los procesos de medición necesarios para la producción de los indicadores de los ODS en las Estrategias Nacionales y Regionales de Desarrollo Estadístico, así como la consolidación de los sistemas estadísticos nacionales (SEN) y el rol rector de las oficinas nacionales de estadística (ONE).

Uno de los objetivos que se pretende alcanzar con las estrategias 3 y 4, es contar con instrumentos e información para la implementación y el seguimiento de la Agenda 2030<sup>26</sup> (ver figura 43).

**Figura 43**

*Relación ODS–CEPAL–Evaluación de la sostenibilidad Hábitat.*



*Nota:* Elaboración propia.

<sup>26</sup>Buscará generar espacios para el diálogo y el intercambio de experiencias, ofreciendo información sistematizada de forma accesible y actualizada a través de bases de datos, indicadores, análisis, buenas prácticas y otros recursos que promuevan la implementación estratégica y sostenible de la Agenda 2030 en los países de la región. (CEPAL, 2018)

El modelo de evaluación a desarrollar aportará al levantamiento de indicadores que permitirán evaluar el avance en la sostenibilidad ambiental en el hábitat y aportará tanto en la etapa de planificación de ciudad, como en la evaluación y seguimiento a proyectos. Como se plantea en las estrategias de la Agenda Urbana, comprometerá tanto a actores públicos (municipio) como privados (operadores, constructores) en la búsqueda de la sostenibilidad.

Se analizarán los ODS, sus metas e indicadores, y se seleccionarán aquellos que aportan a la evaluación de la sostenibilidad en la vivienda social, identificando en cada objetivo las metas e indicadores a incorporar en el modelo de evaluación. Los temas claves derivados del análisis de los ODS y que deberán ser considerados en la formulación del modelo de evaluación son los incluidos en la figura 44.

**Figura 44**

*Objetivos y temas relacionados con la sostenibilidad en la vivienda social.*



*Nota:* Elaboración propia basada en el análisis de la agenda urbana.

## Hábitat

Como punto inicial, para el abordaje del problema se requiere un cambio de paradigma, asumiendo como problema central la sostenibilidad del hábitat, en contraposición con la mirada tradicional referida, en el mejor de los casos, a sostenibilidad en la vivienda (ver figura 45).

**Figura 45**

*Mirada tradicional – mirada actual.*



*Nota:* Elaboración propia.

Retomando a Enrique Leff (1998), el hábitat se concibe como soporte de la vida, lugar donde se asienta el verbo habitar, es el espacio donde se desarrollan las actividades productivas, culturales, estéticas y afectivas del hombre.

El ambiente articula así un conjunto de procesos ecológicos, productivos y culturales, para reconstruir el hábitat como transformación compleja de las relaciones sociedad-naturaleza. La sustentabilidad del hábitat implica, más allá de un método de reordenamiento ecológico del territorio, la revisión de los estilos de asentamiento, de los modos de producción y de los patrones de consumo. Apunta hacia la armonización y reorientación de las tendencias actuales, pero sobre todo muestra las contradicciones e incompatibilidades de la racionalidad económica y tecnológica de la civilización moderna, y ofrece nuevos principios de habitabilidad del espacio. En este sentido, el concepto de ambiente permite pasar del diagnóstico del deterioro de las condiciones del hábitat, hacia la construcción social de una racionalidad ambiental, capaz de reorientar la evolución cultural del

hombre en armonía con las condiciones y potenciales ecológicos del planeta. (p. 244)

El hábitat es soporte y condición, al tiempo que es espacio resignificado y reconstruido por la cultura. Frente al espacio anónimo engendrado por la masificación de presencias sin identidad y sin sentido, el hábitat habitado es el lugar significado por experiencias subjetivas, de vivencias construidas con la materia de la vida. (p. 243)

Es así como en la actualidad hablar de vivienda como única aspiración del estado, conceptualmente es quedarse corto frente al compromiso de la arquitectura de transformar el hábitat del hombre; se requiere una apuesta integral que entienda la relación permanente entre el hombre con toda su carga socio-cultural, el contexto con sus determinantes biofísicos, físicos y económicos, y la arquitectura y el urbanismo supeditados a los anteriores.

El hábitat humano puede entenderse entonces como un sistema ambiental complejo, multidimensional (conformado por la dimensión ambiental natural, físicoespacial y tecnológica, sociocultural e histórica, económica y política) y multiescalar (escalas que van desde la vivienda hasta incluso la región), desarrollado por y para el proceso del habitar del hombre. (Marín Villegas, 2019, p. 4)

Para entender mejor como se ha bordado conceptualmente la relación entre arquitectura y sostenibilidad se presenta en la tabla 13 una síntesis de los conceptos que muestran dicha relación.

Observando los objetivos y criterios planteados por los conceptos descritos en la tabla 13, se encuentra que coinciden en la necesidad de garantizar una selección del sitio de emplazamiento, los materiales de construcción que generen un mínimo impacto ambiental y la necesidad de presentar una propuesta para el manejo de los residuos de la construcción. Ninguno de los conceptos trasciende la mirada del hecho arquitectónico más allá de la resolución específica de lo físico espacial, no involucra factores de orden socio cultural, económico, entre otros que viabilizan una apuesta transformadora de la existencia humana a largo plazo. Se concentran en entender la sostenibilidad desde la perspectiva ecológica, pero no involucran en sus objetivos, criterios o elementos que garanticen una sostenibilidad de carácter socio cultural o económica.

Tabla 13

*Conceptos asociados a la arquitectura sostenible.*

| Denominación              | Objetivo   | Criterios o variables por considerar   | Observaciones  |
|---------------------------|--|--|--|
| Arquitectura ecológica    | Propende por la cuidadosa inserción de las construcciones en el entorno natural, buscando que su emplazamiento genere el menor impacto nocivo posible permitiendo la coexistencia armónica entre el lugar, el edificio y el hombre que lo habita. En la actualidad se define como: “[...] aquella que programa, proyecta, realiza, utiliza, recicla y construye edificios sostenibles para el hombre y el medio ambiente”. | Esta arquitectura tiene 10 principios básicos: 1. Valorar el sitio y las necesidades constructivas.<br>2. Proyectar la obra de acuerdo al clima local.<br>3. Ahorrar energía.<br>4. Pensar en fuentes de energía renovables.<br>5. Ahorrar agua.<br>6. Construir edificios de mayor calidad.<br>7. Evitar riesgos para la salud.<br>8. Utilizar materiales obtenidos de materias primas generadas localmente.<br>9. Utilizar materiales reciclables.<br>10. Gestionar ecológicamente los desechos. | Reflexiona sobre el impacto ambiental de todos los procesos implicados en la construcción y puesta en operación de la misma, pasando por la extracción de materiales, el proceso constructivo y la implantación en el lugar. |
| Arquitectura bioclimática | Generar espacios con óptimas condiciones de confort y bienestar, incorporando determinantes de diseño que permitan la interrelación de variables climáticas para lograrlo.   | 11. Clima.<br>12. Condiciones del entorno.<br>13. Confort térmico, lumínico y acústico en el interior de la vivienda.  | Se concentra exclusivamente en el diseño y los elementos arquitectónicos, sin necesidad de utilizar sistemas mecánicos complejos.  |
| Arquitectura sostenible   | Aquella que tiene en cuenta el impacto que va a tener el edificio durante todo su ciclo de vida, desde su construcción, pasando por su uso y su derribo final.   | 14. Ubicación adecuada.<br>15. Integración en su entorno más próximo.<br>16. Aplicación de variables bioclimáticas.<br>17. Uso de materiales de construcción, que involucre aspectos de disponibilidad, estética y accesibilidad.<br>18. Utilización de materiales y tecnologías que tengan la menor cantidad de CO <sub>2</sub> en el entero ciclo de vida.   | Presenta una mirada más abarcante de la sostenibilidad, incluyendo el contexto físico biótico como un elemento determinante y de integración con el entorno.   |

|                   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|
|                   |   | 19. Implementación de sistemas energéticos alternativos.<br>20. Implantar circuitos cerrados de aguas y residuos.   |   |
| Vivienda adecuada | El derecho a vivir en seguridad, paz y dignidad en alguna parte.<br>Las características del derecho a una vivienda adecuada están definidas principalmente en la Observación general N° 4 del Comité (1991) sobre el derecho a una vivienda adecuada y en la Observación general N° 7 (1997) sobre desalojos forzosos | 1. Disponer de un lugar privado,<br>2. espacio suficiente,<br>3. accesibilidad física,<br>4. seguridad adecuada,<br>5. seguridad de tenencia,<br>6. estabilidad y durabilidad estructural,<br>7. iluminación,<br>8. calefacción y ventilación suficiente,<br>9. infraestructura básica adecuada (servicios de abastecimiento de agua, saneamiento y eliminación de desechos). | Este concepto incluye atributos principalmente relacionados con el objeto arquitectónico y con atributos socio culturales y económicos, vinculados a la seguridad humana. |

*Nota:* Elaboración propia.

En el caso de la arquitectura bioclimática esta concentra su actuar en el confort. Podría decirse que el concepto que mira de manera más amplia la sostenibilidad es el de arquitectura sostenible, sin embargo, hace énfasis de manera especial en resolver los requerimientos funcionales de la arquitectura y la demanda que deriva de esta en términos de consumo de recursos, pero deja de lado aspectos de orden socio cultural y económico.

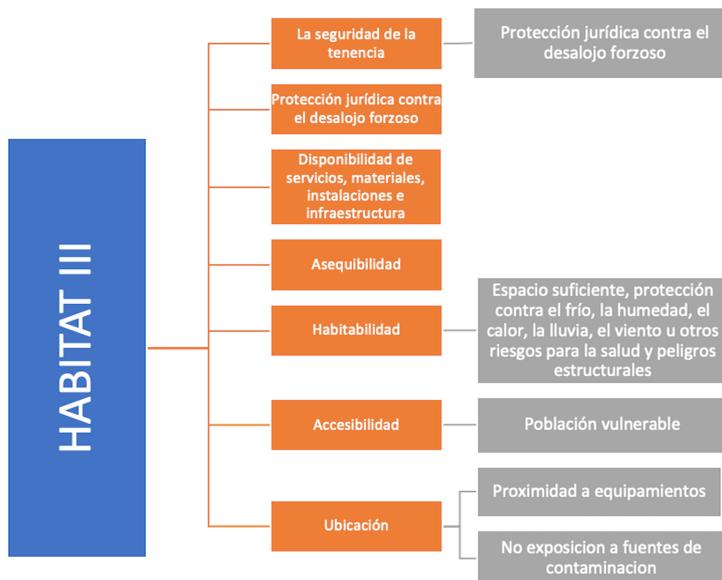
Si se parte de la definición que se presenta del concepto de vivienda a nivel internacional y se retoma la planteada por *Hábitat III*, se puede observar como la aspiración a una vivienda adecuada<sup>27</sup>, supera la mirada limitada de la vivienda como solución arquitectónica e involucra aspectos relacionados con el entorno,

<sup>27</sup>Según las declaraciones sobre vivienda adecuada a nivel internacional en los encuentros de hábitat, se deberá aspirar a cumplir con las siguientes características: disponer de un lugar privado, espacio suficiente para el número de habitantes, accesibilidad física, seguridad adecuada, estabilidad y durabilidad de las estructuras, iluminación, ventilación suficiente, infraestructura básica adecuada que incluya servicios de abastecimiento de agua, saneamiento y eliminación de desechos, factores apropiados de calidad del medio ambiente y relacionados con la salud, emplazamiento adecuado, facilidad de acceso al trabajo y a los servicios básicos, asequibilidad, seguridad jurídica de la tenencia y gastos soportables. (Cardona, 2012)

con énfasis en variables de orden físico espacial. Sin embargo, esta definición deja de lado aspectos que para el caso colombiano son de vital importancia, como lo son: la tenencia del suelo, la sostenibilidad económica de la vivienda, la vivienda como escenario para la proyección de los diferentes integrantes de la familia y la sostenibilidad ambiental de los asentamientos generados (ver figura 46); es así como el análisis territorial y urbano quedan excluidos de la respuesta final entregada (Novoa et al., 2014).

**Figura 46**

*Atributos de la vivienda adecuada, según Hábitat III.*



*Nota:* Elaboración propia.

En la conferencia sobre vivienda y desarrollo urbano sostenible *Hábitat III*, los líderes del mundo han adoptado la nueva agenda urbana, que establece un nuevo estándar mundial para el desarrollo urbano sostenible, y nos ayudará a repensar la forma de planificar, gestionar y vivir en las ciudades. La misma, comprometió a los líderes con:

## Figura 47

*Compromisos Hábitat III.*

*Nota:* Elaboración propia, adaptado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/habitat3/>.

En la figura 47, se presentan los compromisos de *Hábitat III*, relacionados con la cobertura total para servicios públicos, preparación para atención de desastres y reducción de los impactos, promover espacios públicos seguros, accesibles y ecológicos. Estos temas deberán ser incorporados en el sistema a proponer.

En la tabla 14, se puede apreciar que son reiterados los atributos relacionados con el emplazamiento y la calidad ambiental, considerados en la escala de territorio y urbana, en la escala arquitectónica el atributo común es el uso de materiales locales, y en la de ambiente interior las relacionadas con confort.

Tabla 14

*Conceptos asociados a la arquitectura sostenible.*

| Escalas de Análisis  | Arquitectura sostenible   | Vivienda adecuada   | Observaciones  |
|----------------------|---|---|--|
| Entorno y territorio | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valorar el sitio.</li> <li>• Evitar Riesgos para la salud.</li> <li>• Ubicación adecuada.</li> <li>• Integración con el entorno.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad adecuada.</li> <li>• Asequibilidad.</li> <li>• Seguridad jurídica de la tenencia.</li> <li>• Emplazamiento adecuado.</li> <li>• Calidad medio ambiental – minimizar riesgos.</li> <li>• Proximidad a zona de trabajo y estudio.</li> </ul> | En la escala de territorio se relacionan 8 atributos, son reiterativas los relacionados con el emplazamiento y la calidad ambiental. |
| Urbana               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyectar de acuerdo con el clima.</li> <li>• Ahorrar energía.</li> <li>• Fuentes de energías renovables.</li> <li>• Ahorrar agua.</li> <li>• Gestión de desechos</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesibilidad física.</li> <li>• Infraestructuras básicas de servicios públicos.</li> </ul>  | En la escala urbana se relacionan 7 atributos, coincidiendo en la infraestructura de servicios públicos                              |
| Arquitectónica       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahorro agua y energía.</li> <li>• Edificación de mayor calidad – durable.</li> <li>• Utilización de materiales locales.</li> <li>• Gestión de desechos.</li> <li>• Variables bioclimáticas.</li> <li>• Materiales con menores niveles de CO2.</li> <li>• Circuitos cerrados agua y energía.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gastos soportables.</li> <li>• Uso de materiales locales.</li> </ul>   | En la escala arquitectónica se identifican 5 atributos.  |
| Ambiente Interior    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Confort térmico al interior.</li> <li>• Variables bioclimáticas.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio suficiente al número de personas.</li> <li>• Iluminación y Ventilación suficiente.</li> </ul>  | El ambiente interior se analiza considerando variables bioclimáticas.  |

*Nota:* Elaboración propia.

## Discusión

A continuación, se presenta un análisis de las metodologías a nivel internacional y nacional, que evalúan la sostenibilidad ambiental.

### Referentes metodológicos de sistemas de evaluación de la sostenibilidad ambiental, a nivel internacional

Este apartado pretende identificar los componentes y atributos que desde cada metodología se proponen, con el fin de evaluar la sostenibilidad ambiental o como algunos autores la denominan la sostenibilidad biofísica<sup>28</sup>.

La problemática presente al respecto de la sostenibilidad ambiental del hábitat, se explica a través de dos líneas de análisis: una la relacionada con un abordaje sistémico, que implica una lectura multidimensional del fenómeno, y otra, la manera como metodológicamente se ha asumido el problema.

Como punto inicial se parte de la definición de sostenibilidad según Agudelo: “La sostenibilidad de la ciudad Latinoamericana, se vincula a variables de orden social (habitabilidad) y económico (producto-compra) que son a la vez causa y efecto del deterioro ecológico y la crisis de gobernabilidad que padecen estos centros urbanos”<sup>29</sup> (Agudelo, 2004, p. 26).

Dicha sostenibilidad está relacionada con el balance entre la capacidad ecológica de bienes y servicios ambientales de los ecosistemas y la presión de la demanda de éstos ejercida por la sociedad, oferta que define una capacidad de soporte con límites determinados por la productividad total del respectivo ecosistema natural, incluida su capacidad de resiliencia y la protección y compensación que puede incorporar el hombre a través de tecnologías proteccionistas (Valencia et al., 2021).

El tomar la decisión de realizar un abordaje para el análisis del problema desde un enfoque sistémico, parte de reconocer cómo cada una de las dimensiones está respaldada en referentes de orden nacional e internacional, que la

---

<sup>28</sup>Según Márquez Calle la sostenibilidad biofísica se refiere a la capacidad del medio y los ecosistemas para atender la demanda de bienes y servicios ambientales para satisfacción de necesidades básicas, soporte de procesos productivos, prevención de riesgos, entre otros requeridos por la sociedad para mantener condiciones básicas de bienestar y desarrollo.

<sup>29</sup>Agudelo (2004). *Evaluación de la Sostenibilidad Ecológica del Área Metropolitana de Medellín Colombia*.

han destacado como de relevancia tanto para la comprensión del problema como para la generación de estrategias de intervención.

Diferentes teóricos como Luis Carlos Agudelo, Márquez Calle, entre otros, interpretan los problemas de la realidad desde una lectura multidimensional, primando como aspectos de análisis las esferas económicas, socioculturales y tecnológicas<sup>30</sup>. Adicionalmente, se plantea la necesidad de incorporar técnicas de prospectiva que permitan desde la definición de escenarios plantear las estrategias de transformación. La relación entre dimensiones para conformar un todo, exige que luego de ser comprendidas como fragmentos, sean integradas a partir del descubrimiento de las interrelaciones entre atributos que las unen<sup>31</sup>. La definición de las dimensiones de análisis del sistema y la identificación de las interacciones de las mismas, implica superar la mirada tradicional asignando pesos diferentes a las dimensiones que integran el sistema, y privilegiando los aspectos socioculturales y biofísicos, como aquellos que desde *Hábitat II* se enuncian con mayor relevancia en la búsqueda del modelo de desarrollo sostenible del país.

A causa de la complejidad del concepto del Impacto Ambiental, la evaluación de impacto ambiental (EIA) debe de considerar en su proceso el análisis de diversos aspectos biofísicos (la degradación de ecosistemas, la pérdida de especies, el cambio en la resiliencia, etc.), y antropogénicos (en relación con la vulnerabilidad social, la reversibilidad de impactos y las consecuencias económicas, entre otros). (Perevochtchikova, 2015, p. 287)

---

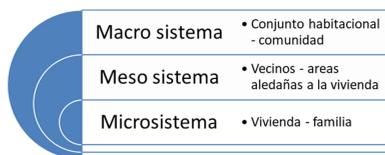
<sup>30</sup>“Existe una clara interrelación entre las tres dimensiones clásicas de la sostenibilidad debido al estrecho vínculo que se manifiesta entre ellas a la hora de analizar los problemas del desarrollo sostenible de cada territorio o país. Las dimensiones económica, social y ambiental no pueden actuar de forma independiente o exclusiva, sino integradas en la práctica. Su separación es simplemente metodológica, conceptual, para un estudio más detallado y específico; de igual forma no pueden aislarse del contexto concreto en que se manifiestan ni de los vínculos globales y naturales entre países, regiones, territorios y ecosistemas”. (Agudelo, 2004, p. 28)

<sup>31</sup>“La concepción multidimensional de la sostenibilidad también requiere de una clara definición de los contenidos y alcance de cada dimensión, de sus interrelaciones y jerarquías, de la precisión y cuantificación del modelo o los modelos que la representan, así como la determinación objetiva de los procedimientos para su evaluación en diferentes escenarios sociales, económicos, culturales, tecnológicos y naturales”. (Agudelo, 2004, p. 31)

Partiendo de la revisión realizada a los modelos, se encontró la necesidad de acoger un análisis multiescalar que permita identificar los atributos o categorías que sirven de enlace o interfase entre escalas y cuál es su papel en la interrelación. Cortés (2012), dice que la mirada multiescalar —referido al concepto de lugar— presenta tres niveles territoriales o escalas incluidas en un conjunto habitacional: el micro-sistema donde ocurren las relaciones de la familia y la vivienda, el meso-sistema donde se relacionan los vecinos a nivel de los entornos inmediatos a la vivienda (escaleras, pasajes) y el macro-sistema el cual incluye la comunidad y sus relaciones a nivel del conjunto habitacional (ver figura 48). Todo esto se produce dentro de un gran contexto socio-físico, donde el sistema interactúa (Cortés, 2012).

**Figura 48**

*Diferentes escalas del hábitat.*



*Nota:* Elaboración propia.

Si se incorpora la dimensión ambiental en la toma de decisiones frente a donde se localiza la vivienda (lo biofísico), cómo interactúa con el entorno (lo físico espacial) y cómo considera las condiciones socioculturales (lo socio-cultural) de la población a ser beneficiada, es posible contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población y la disminución de los impactos ambientales inherentes.

### **Metodologías de evaluación de la sostenibilidad ambiental**

Con el fin de realizar un análisis de las metodologías de evaluación de la sostenibilidad en la vivienda, se realizó un rastreo a nivel nacional e internacional que llevó a construir una tabla de resumen, donde se concentran como elementos relevantes en cada una: objetivo, categorías consideradas y observaciones.

El análisis de las metodologías revisadas se presenta por escala de análisis, dependiendo de la escala de aplicación de la metodología, del modelo o del sistema de indicadores.

## Escala 1. Territorio y entorno

En esta primera escala, se incluyen las metodologías que desde el marco global o de país, plantean una puesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad ambiental.

Se revisaron nueve metodologías de orden internacional, de las cuales solo cinco se llevaron a la tabla de síntesis por presentar objetivos y dimensiones que evalúan la sostenibilidad en la escala de territorio y entorno, la mayor parte de ellas, surgieron con posterioridad a la cumbre de la tierra y al compromiso de alcanzar un desarrollo sostenible como política de estado (ver tabla 15). Cuatro de ellas se concentran en evaluar la presión que ejerce las actividades humanas sobre la base natural; identificando aquellas actividades que ejercen mayor presión y proponiendo estrategias de intervención o políticas públicas que contrarresten la misma. Dos de ellas arrojan como producto un índice que, con un enfoque económico, buscan incluir los activos ambientales dentro la contabilidad del país, pretende ajustar el PIB integrándole variables no solo ecológicas, sino también sociales y políticas.

**Tabla 15**

*Resumen criterios de sostenibilidad por metodologías de carácter internacional en la escala Macro-Territorio.*

| Modelo   | Objetivo   | Observaciones   |
|--|--|---|
| Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (BID) | Con la participación de la ciudad, la ICES <sup>32</sup> identifica rápidamente las problemáticas locales críticas, prioriza los sectores de desempeño deficiente más importantes y desarrolla un plan de acción con soluciones innovadoras y asequibles. A medida que comienza la implementación del plan de acción, la ICES también establece un sistema de monitoreo ciudadano para hacer un seguimiento de los resultados empleando indicadores y objetivos específicos. | Aborda tres dimensiones de la sostenibilidad: la sostenibilidad ambiental, el desarrollo urbano sostenible, y la sostenibilidad fiscal de buena gobernabilidad.<br>La dimensión ambiental: <ul style="list-style-type: none"> <li>• calidad del aire y el agua</li> <li>• mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI)</li> <li>• adaptación al cambio climático</li> <li>• reducción de la vulnerabilidad a los desastres naturales</li> <li>• cobertura de los servicios públicos.</li> </ul> La dimensión del desarrollo urbano: <ul style="list-style-type: none"> <li>• los aspectos físicos, económicos y sociales del desarrollo urbano</li> </ul> |

<sup>32</sup>Iniciativa ciudades emergentes y sostenibles.

|  |  |  |
|--|--|--|
| Indicador de bienestar económico sostenible (index of sustainable economic welfare, isew).                 | Este indicador fue propuesto por Daly y Cobb (1989) y pretende ajustar el PIB integrándole variables no solo ecológicas sino también sociales y políticas.   | La dimensión fiscal y de gobernabilidad: características de la buena gobernabilidad (transparencia, participación pública y gestión orientada a la obtención de resultados, prácticas fiscales de las ciudades, recuperación de los costos de pago, la administración de la deuda y la inversión pública.  |
| Indicador de sostenibilidad ambiental (environmental sustainability index, esi) Universidad de Yale, 2016. | Comparar la capacidad de los países para proteger el medio ambiente. Esto lo hace integrando 6 conjuntos de datos primarios en 21 indicadores de sostenibilidad ambiental, que consideran el seguimiento del uso de los recursos naturales, los niveles pasados y presente de contaminación, los esfuerzos dedicados a la gestión ambiental, y la capacidad de una sociedad de mejorar su comportamiento en relación con el medioambiente. | No es, estrictamente, Un indicador de sostenibilidad puesto que un incremento del mismo solo significa que el bienestar económico nacional está mejorando, sin entrar a considerar si ello implica un beneficio para todos los miembros de la sociedad. También, sigue resultando compleja la evaluación monetaria de los daños medio ambientales, así como el acceso a la información necesaria para esto.<br>Estos indicadores permiten la comparación mediante una gama de aspectos que pertenecen las siguientes categorías temáticas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas ambientales.</li> <li>• Reducción de presiones ambientales.</li> <li>• Reducción de la vulnerabilidad humana a las presiones ambientales.</li> <li>• Capacidad social e institucional para responder a los retos ambientales.</li> <li>• Gestión y cooperación global.</li> </ul> |
| Ciudades prosperas (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2016).                     | Resolver las formas ineficientes, insostenibles y disfuncionales con que fueron planificadas muchas ciudades del siglo pasado, orientando cambios transformadores en ellas a través de un marco práctico para la formulación, implementación y seguimiento de un Plan de Acción que integre las políticas públicas y las acciones encaminadas a incrementar sus niveles de prosperidad.  | El Índice de Ciudad Próspera (CPI) permitirá diseñar intervenciones públicas de impacto en seis dimensiones de prosperidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productividad.</li> <li>• Equidad e inclusión social.</li> <li>• Infraestructura e inversión.</li> <li>• Sostenibilidad ambiental.</li> <li>• Calidad de vida.</li> <li>• Gobernanza y legislación urbana.</li> </ul>   |
| Modelo Know, 2017.   | Adaptación del modelo de ciudades prosperas par el caso cubano, el cual se sintetiza en la rueda de la prosperidad.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productividad.</li> <li>• Equidad e inclusión social.</li> <li>• Infraestructura.</li> <li>• Calidad de vida.</li> <li>• Sostenibilidad ambiental.</li> <li>• Gobernanza municipal y desarrollo local.</li> </ul>   |

*Nota:* Elaboración propia.

En la iniciativa de ciudades prósperas conceptualmente, cada dimensión se interrelaciona con las otras, lo que hace indispensable identificar estrategias de acción en tres conceptos claves, conocidos como la triada de la prosperidad y del desarrollo urbano sustentable: a. La planeación y el diseño urbano. b. La legislación y la regulación urbana. c. La economía y las finanzas urbanas.

En la rueda de la prosperidad<sup>33</sup>, luego de la adaptación al contexto cubano, se incorporaron temáticas inicialmente no consideradas, tal es el caso de seguridad alimentaria; participación comunitaria; movilidad y accesibilidad; emprendimiento y generación de ingresos locales. Estas temáticas son muy importantes en los países latinoamericanos y cabe anotar que, en el caso cubano, se otorga gran importancia a los procesos de participación comunitaria y al empoderamiento de las comunidades con el fomento de proceso de autogestión y de dinámicas productivas derivadas de iniciativas de los pobladores locales.

Figura 49

*Cuadro síntesis elementos principales.*

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p><b>OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE - ODS</b></p> <p><b>1. Pobreza</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios básicos</li> <li>• Tenencia</li> <li>• Reducción de Desastres</li> </ul> <p><b>6. Agua limpia y saneamiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua Potable</li> </ul> <p><b>7. Energía asequible y no contaminante</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energías renovables</li> </ul> <p><b>11. Ciudades y Comunidades Sostenibles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte pob. discapacitada</li> <li>• Participación ciudadana</li> <li>• Espacio Público</li> <li>• Zonas verdes</li> <li>• Cobertura vegetal</li> <li>• Suelos de protección</li> </ul> <p><b>16. Paz, justicia e Instituciones Solidas.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad Humana</li> </ul> | <p><b>CIUDADES PRÓSPERAS - ODS</b></p> <p><b>Productividad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aglomeración económica           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de actividades productivas.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Infraestructura</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura de vivienda           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Viv. Durable</li> <li>• Acceso al agua</li> <li>• Espacio Habitable</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Calidad de Vida</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio Publico           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesibilidad a E. P. abierto</li> <li>• Áreas Verdes</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Equidad e inclusión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inclusión social</li> </ul> <p><b>Sostenibilidad Ambiental</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo de residuos</li> <li>• Energía</li> </ul> <p><b>Gobernanza y legislación urbana</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansión urbana</li> </ul> | <p><b>RUEDA DE LA PROSPERIDAD</b></p> <p><b>Productividad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de ingresos locales</li> <li>• Tenencia</li> <li>• Reducción de Desastres</li> </ul> <p><b>Infraestructura</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vivienda</li> <li>• Movilidad y accesibilidad</li> <li>• Conectividad – uso transporte</li> </ul> <p><b>Calidad de Vida</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad y protección</li> <li>• Seguridad Alimentaria</li> <li>• Calidad educación, salud y recreación</li> <li>• Servicios sociales</li> <li>• Espacio publico y verdes</li> </ul> <p><b>Equidad e inclusión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inclusión social grupos vulnerables</li> </ul> <p><b>Sostenibilidad Ambiental</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad del aire y recursos naturales</li> <li>• Manejo de residuos</li> <li>• Energía</li> </ul> |
|--|---|--|

*Nota:* Elaboración propia, interpretación del autor.

<sup>33</sup>Propuesta de Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (2016); integrada a la apuesta de *Ciudades Prósperas*.

Los tres modelos analizados (ver figura 49), coinciden en la inclusión de cuatro dimensiones vinculadas a la prosperidad: la económica, que valora la economía local y sus emprendimientos como motor de desarrollo en las comunidades; la sociocultural, que prioriza la inclusión social y la búsqueda de la calidad de vida (incluyen como factores determinantes de la misma: seguridad y protección; seguridad alimentaria; calidad de los servicios sociales); la físico espacial, que involucra la infraestructura como soporte material del hábitat (vivienda, transporte, espacio público y servicios públicos); y la dimensión político administrativa, que aunque se sale del fuero de los operados encargados de la producción material del hábitat, es la que determina las políticas de expansión urbana, y el modelo de ocupación.

### ***Escala 2. Desarrollo urbano sostenible.***

El urbanismo sustentable se enfoca en los tres pilares del desarrollo sostenible: ambiental, social y económico, lo que quiere decir que es un ejercicio holístico (Leal, 2004). Los principios básicos del urbanismo sustentable están condensados en La Carta del Nuevo Urbanismo (CNU, 2001), los cuales se pueden aplicar en las diversas escalas de ordenación: edificio, barrio, bloque urbano, ciudad, región y país. (Hernández, 2018, como se citó en Rodríguez-Potes et al., 2018, p. 21)

En esta escala de análisis de la sostenibilidad se revisaron siete metodologías de orden internacional que evalúan la sostenibilidad, con énfasis en el análisis urbano y una apuesta a ciudades sostenibles (ver tabla 16). Tres de las metodologías comparten objetivos en la medición de la sustentabilidad urbana, siendo estos: compacidad y cohesión social (inspiradas en la propuesta de las guías españolas). Seis de ellas comparten las siguientes categorías de análisis: selección del sitio, materiales y sistemas constructivos, vías y transporte.

### ***Escala 3. Desarrollo arquitectónico sostenible***

Cuando se habla de arquitectura sostenible, debe considerarse como años después, la *Cumbre de la Tierra*, efectuada en 1992 en Río de Janeiro, estableció en su contenido aspectos que conciernen la disminución de emisiones contaminantes a través de 27 principios (Naciones Unidas, 1996). Estos principios fundamentales son adoptados por la arquitectura, por lo cual se empieza a hablar sobre cómo debe ser una arquitectura sostenible.

Tabla 16

*Resumen criterios de sostenibilidad por metodologías de carácter internacional.*

| Modelo  | Objetivo  | Categorías   | Observaciones   |
|---|---|--|---|
| Modelo CONAVI   | Asegurar la sustentabilidad ambiental mediante la participación responsable de los mexicanos en el cuidado y la protección, la preservación y el aprovechamiento racional de la riqueza natural del país, logrando así afianzar el desarrollo económico y social sin comprometer el patrimonio natural y la calidad de vida de las generaciones futuras.                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección del sitio y desarrollo urbano.</li> <li>• Planeación del proceso de construcción.</li> <li>• Diseño del proyecto.</li> <li>• Sistemas constructivos y especificaciones.</li> <li>• Materiales empleados.</li> <li>• Solución estructural.</li> <li>• Incidencia ecológica.</li> <li>• Factores socioculturales.</li> <li>• Mantenimiento de la vivienda.</li> </ul> | Es una de las propuestas que aborda con mayor integralidad el análisis, siendo la única que involucra factores socio culturales en el mismo.  |
| Metodología de Evaluación Integral Sostenible Urbano (Portugal)         | Su objetivo principal es ser una evaluación integral, equilibrada y justificada por los aspectos importantes para generar barrios sostenibles.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Morfología urbana: calidad del diseño de edificios; Fisonomía y calidad de imagen urbana; Conectividad y movilidad; densidad de Planificación.</li> <li>• Sintaxis urbana: edificios sostenibles; uso mixto de la comunidad; Infraestructura y servicios; estrategias de futuro.</li> </ul>   | Se concentra en presentar a partir de dos componentes, una propuesta que busca evaluar la sostenibilidad en la escala barrial y aunque en morfología urbana, incluye la edificación, solo la mira desde la perspectiva físico espacial. |
| La Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. BCN Ecología & AL21 (2013). | Este modelo plantea cuatro objetivos básicos de la sostenibilidad urbana: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cohesión Social.</li> <li>2. Eficiencia.</li> <li>3. Complejidad: complejidad urbana, espacios verdes y biodiversidad.</li> <li>4. Compacidad y Funcionalidad: ocupación del suelo, espacio público y hospitalidad; movilidad y servicios.</li> </ol> | Cada objetivo se compone de uno o más ámbitos, los cuales se subdividen en indicadores de urbanismo ecológico.   | Este modelo incluye variables sociales y físico espaciales en la escala urbana.   |
| Medición de la sustentabilidad urbana, cuenca (Ecuador)                 | <i>Compacidad</i> : realidad física, lleno-vacío urbano, relación entre el soporte y el grado de presión que  | <i>Compacidad</i> : realidad física, lleno-vacío urbano, relación entre el soporte y el grado de presión que   | Este modelo presenta un énfasis en el análisis físico y aunque involucra aspectos de orden social, no   |

ejerce lo construido y el tipo de ocupación.

*Diversidad de usos:* organización y mezcla de usos terciarios como reflejo de las interacciones entre entes organizados.

*Verde urbano:* se analiza la ciudad como un ecosistema biodiverso donde el verde urbano resulta determinante.

*integración socio espacial:* efecto y causa de las relaciones multivariadas que eviten segregación social y marginación.

Compacidad:

- Densidad edificatoria.
- Porcentaje de espacio público.
- Accesibilidad a pie.
- Proximidad al transporte alternativo.

Diversidad de usos:

- Proximidad a servicios y lugares de trabajo.
- Autosuficiencia.
- Autocontención.

Verde urbano:

- Presencia de arbolado y superficie verde.
- Accesibilidad a estos espacios.

Integración socio espacial:

- Cultura.
- Edad.
- Renta.
- proximidad física entre equipamientos.

es clara la interacción analizada entre los indicadores físicos y los sociales, y no considera variables económicas y biofísicas dentro de la propuesta metodológica.

Plan Especial de indicadores de Sostenibilidad ambiental de Sevilla (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2008)

La selección de las recomendaciones se ha realizado con el fin de llegar a incluir la eficiencia energética, junto con aquellas consideraciones que conduzcan a una verdadera estructuración ambiental del territorio, dentro de las medidas de protección del Medio Ambiente.

Para la inclusión de las medidas a considerar a lo largo del planeamiento se toma como base, o hilo conductor, lo que sería un

1. Modelos y usos urbanos: análisis del lugar.
2. Distribución de las zonas edificables y los espacios libres.
3. Trazado de viales, forma y tamaño del lugar.
4. Parcelación.
5. El sistema viario: estudio de tráfico.
6. Las redes de servicios.
7. Posición de la edificación y separaciones entre edificios.
8. Forma del edificio.
9. La urbanización, la vegetación urbana y las zonas verdes.

1. El planeamiento debe tener como objetivo el aprovechamiento de las condiciones ambientales favorables, así como el control de aquellas que sean desfavorables.
2. Hay que considerar las condiciones microclimáticas y energéticas de los emplazamientos en la clasificación del suelo, y en general en la toma de decisiones.
3. Realizar estudios de impacto ambiental de las determinaciones: Analizar el impacto ambiental de las

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|   | procedimiento genérico de planeamiento urbanístico: desde la consideración del lugar hasta el proyecto de urbanización.  |   | propias determinaciones y estructurar mecanismos de análisis de impacto ambiental de los Planes de desarrollo.  |
| Metodología de Aptitud primaria para el desarrollo urbanístico. | Identificar las zonas más o menos adecuadas para el desarrollo urbanístico desde el punto de vista del medio físico.   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Descripción del medio físico (medio físico natural y medio físico construido).</li> <li>2. Valoración del medio físico. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variables de capacidad.</li> <li>• Variables vulnerabilidad.</li> </ul> </li> <li>3. Aptitud del medio físico. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa sectorial de capacidad.</li> <li>• Mapa sectorial de vulnerabilidad.</li> </ul> </li> <li>4. Elaboración de premisas ambientales. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escala territorial.</li> <li>• Escala urbana.</li> <li>• Escala arquitectónica.</li> </ul> </li> </ol> | Esta metodología realiza un análisis integral de la realidad con el fin de generar premias de intervención en las diferentes escalas en las cuales el proyecto urbano tiene competencia.<br><br>Es el único de los modelos analizados que propone un análisis multiescalar y concluye con la generación de premisas ambientales para el diseño.<br><br>No incorpora variables de carácter socio cultural en el análisis de la descripción del medio físico. |
| Plan De Indicadores De Sostenibilidad Urbana De Vitoria-Gasteiz | El panel de indicadores responde a un modelo de ciudad sostenible previamente definido. Es una herramienta a través de la cual se puede hacer un seguimiento y evaluación del estado y tendencia de una ciudad a este modelo de ciudad más sostenible. | • Población y vivienda.   | Se trata de un potente instrumento que permite a su vez, guiar futuros procesos de desarrollo urbano o planes sectoriales de la ciudad. Su funcionalidad es doble: guía de orientación y herramienta de evaluación en el cumplimiento de objetivos mínimos y de parámetros deseables (óptimos).   |

*Nota:* Elaboración propia

Kriebler (1999) indica que para serlo debe cumplir los siguientes aspectos:

- Reducir los gastos de los recursos empleados.
- Reducir la contaminación del suelo, el aire y el agua.
- Mejorar el confort interno y externo del edificio, preferentemente de manera pasiva.

- Ahorrar recursos económicos y financieros en el proceso constructivo.
- Reducir los desperdicios derivados del ciclo del inmueble (diseño, construcción, uso, mantenimiento y demolición)
- Mejorar la tecnología que provee servicios a los inmuebles (aparatos, máquinas, mecánica y eléctricas) (Rodríguez-Potes et al., 2018, p. 20).

Como expresión de la búsqueda de evaluar la sostenibilidad en la arquitectura, se revisaron ocho metodologías de orden internacional que evalúan la sostenibilidad (ver tabla 17) con énfasis en el análisis arquitectónico, dos de las metodologías tiene como objetivo el análisis de ciclo de vida, considerando las implicaciones de la sostenibilidad en cada etapa del mismo, tres de las metodologías evalúan la calidad de la vivienda y las estrategias vinculadas a la sostenibilidad ambiental en el proceso, solo una considera como objetivo, el análisis de la vida útil de la edificación.

**Tabla 17**

*Resumen criterios de sostenibilidad en la arquitectura de carácter internacional.*

| Modelo                    | Objetivo   | Categorías  | Observaciones  |
|---------------------------|--|---|--|
| Método GBC <sup>34</sup>  | Conjunto de criterios que analiza los datos aportados por el inventario de un análisis de ciclo de vida estableciendo una serie de categorías de impacto medioambiental. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de energía.</li> <li>• Calidad ambiental interior.</li> <li>• Cargas ambientales.</li> <li>• Calidad del servicio.</li> <li>• Economía.</li> <li>• Coordinación.</li> <li>• Transporte.</li> </ul> | Esta metodología, es la base para las certificaciones de construcción verde. |
| Modelo LEED <sup>35</sup> | Es un sistema para certificar el diseño, la construc-  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia energética.</li> <li>• Aprovechamiento de agua.</li> </ul>  | El aspecto al que mayor relevancia se le da en términos                      |

<sup>34</sup>El esquema BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) es un sistema de evaluación del desempeño ambiental de los edificios, desarrollado por la organización inglesa BRE Global Ltd. Para la evaluación de la vivienda se aplica el esquema BREEAM Multi-Residencial [...] el cual puede realizarse en las fases de diseño, ejecución y mantenimiento. (Quesada, 2015, p. 59)

<sup>35</sup>LEED es un programa de certificación independiente y es el punto de referencia al nivel nacional aceptado para el diseño, la construcción y la operación de construcciones y edificios sustentables de alto rendimiento. Desarrollado en el año 2000 por el U.S. Green Building Council (USGBC), el consejo de construcción sustentable al nivel nacional para los Estados Unidos, mediante un procedimiento consensual, LEED sirve como herramienta para construcciones de todo tipo y tamaño. La certificación LEED ofrece una validación por parte de terceros sobre las características sustentables de un proyecto. (Lopez Bernal y Daza Riano, 2018, p. 21)

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|   | ción y la operación de edificios ambientalmente sostenibles.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales utilizados.</li> <li>• Impacto en el entorno.</li> <li>• Calidad ambiental interior.</li> </ul>  | de buscar la sostenibilidad en edificaciones es la energía.   |
| Empresa Consultora Tapattá Energía Y Arquitectura (México).                       | Propone un sistema adaptado del modelo LEED para la evaluación de edificaciones sostenibles.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciudad y contexto.</li> <li>• Eficiencia hidráulica.</li> <li>• Eficiencia energética.</li> <li>• Materiales y recursos.</li> <li>• Confort ambiental en el interior.</li> </ul>  | Se concentra en el análisis de la vivienda como hecho construido y su uso de los recursos naturales   |
| Indicadores de sostenibilidad España  | Establecer un sistema de indicadores que permita, por un lado, fijar objetivos mensurables y, por otro lado, comprobar el grado de cumplimiento, en la vida útil del edificio o del plan, de los objetivos fijados.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupación del suelo.</li> <li>• Contribución al cambio climático.</li> <li>• Alteración del ciclo natural del agua.</li> <li>• Afectación al ciclo de los materiales.</li> <li>• Calidad interior.</li> </ul>   | Presenta un análisis de ciclo de vida, del agua, la energía, los materiales y el hombre, donde busca mantener el ciclo cerrado y el equilibrio del mismo.   |
| Modelo Ciudad de Tijuana, México.   | Definir los principios para una vivienda de interés social sostenible y un planteamiento de trabajo para alcanzarlos, de forma paulatina, en las viviendas que se construyan en Tijuana, México al año 2030.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Territorio.</li> <li>• Sectores de actividad económica.</li> <li>• Energía y cambio climático.</li> <li>• Movilidad.</li> <li>• Servicios públicos.</li> <li>• Residuos.</li> <li>• Eficiencia energética.</li> <li>• Integración cívica/social.</li> </ul> | Se propone un sistema eficiente, el cual permite terminar una vivienda en 23 días.  |
| Habitabilidad para mejorar la calidad de la construcción en la vivienda en Chile. | Su objetivo es Evaluar la calidad residencial, la definición de calidad de la vivienda: el conjunto de propiedades y características de la edificación que le confieren aptitud para satisfacer tanto los requerimientos expresamente estipulados en reglamentos, planos y especificaciones técnicas, como también los requerimientos implícitos, propios de las reglas del arte y de la buena práctica profesional que aseguran, en definitiva, una adecuada respuesta a las necesidades habitacionales de los usuarios. (Haramoto, 1995). | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habitabilidad espacial.</li> <li>• Habitabilidad psico social.</li> <li>• Habitabilidad térmica.</li> <li>• Habitabilidad acústica.</li> <li>• Habitabilidad lumínica.</li> <li>• Seguridad y mantención.</li> </ul>  | <p>La metodología de evaluación presenta una estrategia multidimensional que parte de las necesidades humanas y plantea su aplicación en tres escalas, así; micro: vivienda. Meso: vecindario y macro: Barrio.</p> <p>Los diversos atributos son expresados en aspectos funcionales, espaciales, formales (estéticos y significado), materiales y ambientales</p> |

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Política Pública de Urbanismo y Construcción Sostenibles del Valle de Aburrá. | <p>La política presenta dos niveles de indicadores:</p> <p>El primer nivel está constituido por indicadores técnicos que permiten evaluar la sostenibilidad en los diferentes ámbitos de aplicación y las fases del ciclo de vida de los proyectos constructivos.</p> <p>El segundo nivel corresponde a los indicadores de política pública los cuales permitirán evaluar la efectividad de la implementación de la política pública.</p> | <p>Se compone de 5 ejes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecoeficiencia.</li> <li>• Habitabilidad.</li> <li>• Viabilidad.</li> <li>• Complejidad.</li> <li>• Resiliencia.</li> </ul> <p>Los ejes de Movilidad y equidad, se considera dependen de otros instrumentos de planificación (POT), por lo cual no están incluidos en el modelo.</p> <p>El eje de habitabilidad que compromete los satisfactores de carácter social solo involucra indicadores físicos y tangibles no específicos a la lógica de la población. Cada objetivo general cuenta con un índice para su evaluación, cada uno de los cuáles está compuesto por una serie de indicadores, definidos a partir de problemáticas y oportunidades específicas.</p> | <p>Cada objetivo se compone de uno o más ámbitos, los cuales se subdividen en indicadores de urbanismo ecológico. En este modelo los objetivos económicos y socio culturales, no tienen ninguna interacción con los demás y presentan poco peso.</p> |
|---|---|---|--|

*Nota. Elaboración propia.*

Las metodologías desarrolladas a nivel internacional coinciden en la necesidad de implementar un análisis del ciclo de vida que permita prevenir los impactos ambientales asociados al proceso de construcción, con el propósito de lograr edificaciones ambientalmente sostenibles. Debido a que la mayor parte de estos modelos fueron generados en países con estaciones, donde la energía es una de las mayores demandas en las edificaciones, se convierte en un factor importante de analizar en aras de obtener sostenibilidad en edificaciones; acompañan a este factor otros de menor relevancia como: calidad del ambiente interior, materiales y recursos. El modelo que mayor integralidad presenta en su análisis es el mexicano.

#### ***Escala 4. Ambiente interior sostenible***

En la escala 4 de ambiente interior se identifican las variables que en el espacio interior de la edificación se asocian a la sostenibilidad.

Los conceptos asociados a la arquitectura sostenible, y reconocidos a nivel internacional, buscan una inserción armónica del elemento construido en el contexto natural, un uso eficiente de los recursos naturales requeridos para su funcionamiento empleando, en algunos casos, el análisis del ciclo de vida de los materiales como estrategia para evaluar los mismos desde su origen hasta su conclusión como residuo sólido. (Valencia Londoño, 2018, p. 54)

Los requisitos de la edificación que más tienen que ver con la salud son los de la superficie y volumen mínimo, las condiciones de iluminación, ventilación, temperatura, humedad, aislamiento sonoro, suministro y saneamiento de agua, calidad del aire, accesibilidad y protección frente a accidentes e incendios. Ahora hay que dar el paso definitivo a su sostenibilidad: menor uso de materiales y más ecológicos, ahorro y eficiencia energética, rehabilitación. (DKV Seguros, 2015, p. 14)

En la tabla 18, se observa como en el contexto internacional, el mayor avance lo presenta la elaboración de guías de sostenibilidad por recurso (agua, energía y residuos), adicionalmente se analizan las condiciones de confort y salud, que el espacio interior ofrece a los usuarios del espacio.

**Tabla 18**

#### *Resumen criterios de sostenibilidad en la arquitectura de carácter internacional.*

| Modelo   | Objetivo  | Categorías  | Observaciones  |
|--|---|---|--|
| Guías de sostenibilidad en la edificación Residencial (España) | La guía se circunscribe a analizar los posibles contaminantes presentes en los espacios interiores y su posible repercusión en la salud humana. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Guías de la calidad del ambiente interior:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Higiene.</li> <li>• Salud.</li> <li>• Protección del medio Ambiente.</li> </ul> </li> <li>• Guías del agua.</li> <li>• Guías de la Energía.</li> <li>• Guía de Residuos</li> </ul> | La guía se circunscribe a analizar los posibles contaminantes presentes en los espacios interiores y su posible repercusión en la salud humana. Presenta instrumentos para el análisis de la situación y la medida sostenible. |

## Resultados

En la escala de territorio, la única metodología que presenta una mirada integral, que involucra la dimensión social de la sostenibilidad es el denominado Indicador de Sostenibilidad Ambiental, el cual permite comparar la capacidad de los países para proteger el medio ambiente, empleando el análisis de las siguientes temáticas (superando la mirada unidireccional del análisis tradicional realizado a los sistemas ambientales): reducción de presiones ambientales, reducción de la vulnerabilidad humana a las presiones ambientales y capacidad social e institucional para responder a los retos ambientales.

En la escala de territorio, se destaca la metodología presentada por Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (BID), ésta identifica rápidamente las problemáticas locales críticas, prioriza los sectores de desempeño deficiente más importantes y desarrolla un plan de acción. En dicha metodología, se presentan dimensiones y aspectos a considerar en el desarrollo del modelo teórico, plantea tres dimensiones de la sostenibilidad: la sostenibilidad ambiental (biofísica), el desarrollo urbano sostenible (urbano), y la sostenibilidad fiscal (económico) y de gobernabilidad (social). La dimensión ambiental incluye los siguientes atributos:

- Calidad del aire y el agua.
- Mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI).
- Adaptación al cambio climático.
- Reducción de la vulnerabilidad a los desastres naturales.
- Cobertura de los servicios públicos.

La dimensión del desarrollo urbano:

- Aspectos físicos, económicos y sociales del desarrollo urbano.

La dimensión fiscal y de gobernabilidad:

- Características de la buena gobernabilidad (transparencia, participación pública y gestión orientada a la obtención de resultados, prácticas fiscales de las ciudades, recuperación de los costos de pago, la administración de la deuda y la inversión pública.

En la escala urbana solo la Metodología de Aptitud Primaria para el Desarrollo Urbanístico, propone un análisis multiescalar y concluye con la generación de premisas ambientales para el diseño. Las demás metodologías asumen la evaluación como un fenómeno expost. Solo tres de las metodologías, incluyen elementos de prospectiva en el análisis.

En la escala de ambiente interior a nivel internacional solo se encontró una metodología, esta es la guía de sostenibilidad en la edificación residencial en España. En ella se plantea, como temas de importancia en el ambiente interior, los siguientes: higiene, salud y protección del medio ambiente. La guía se circunscribe en el análisis de los posibles contaminantes presentes en los espacios interiores y su repercusión en la salud humana. Presenta instrumentos para el análisis de la situación y la medida sostenible.

En la revisión de referentes a nivel internacional e internacional, se analizaron 5 conceptos, 8 metodologías en la escala de territorio y entorno; 7 metodologías en la escala urbana; 8 metodologías en la escala arquitectónica y 1a metodología en la escala de ambiente interior. Se identificaron en total 29 metodologías o modelos, sumando las metodologías y conceptos en las diferentes escalas y contextos internacionales.

## Conclusiones

Retomando lo planteado por la propuesta chilena, se requiere de un modelo de evaluación del hábitat que entienda el mismo como la interrelación de múltiples escalas, en esto se coincide con la propuesta de barrios sostenibles, es así como la metodología de evaluación debería presentar una estrategia multidimensional que parta de las necesidades humanas y plantee su aplicación en tres escalas: vivienda (micro), vecindario/urbana (meso) y territorio (macro). Por la recurrencia en los modelos analizados de variables bioclimáticas se adicionaría una escala más denominada: ambiente interior.

En lo que respecta a las metodologías de evaluación de la sostenibilidad, se encuentra que alrededor del 65% de los atributos identificados se relaciona con las escalas territorial y urbana en los diferentes modelos, se responsabilizan dichas escalas de la sostenibilidad ambiental del hábitat.

Desde el marco normativo colombiano, se priorizan como temas asociados a la sostenibilidad ambiental en edificación los siguientes:

El CONPES 3919 (2013), plantean como los lineamientos generales de sostenibilidad los siguientes: (i) un proceso de planeación incluyente; (ii) componentes de equidad y accesibilidad; (iii) componentes de localización; (iv) componentes de movilidad; (v) una gestión ambiental y de resiliencia (adaptación y mitigación al cambio climático), (vi) uso eficiente del agua; (vii) uso eficiente de la energía; (viii) manejo adecuado de materiales y recursos; y (ix) determinantes en la calidad de ambiente interior, sin embargo reconoce la baja aplicabilidad de los lineamientos normativos, y deja la tarea de generar las guías técnicas que permitan la implementación de los lineamientos enunciados para el 2019, sin embargo hasta el día de hoy, dichas guías no han sido desarrolladas.

## Referencias

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2008). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0681581.pdf>.
- Agudelo, L. (2004). *Evaluación de la Sostenibilidad Ecológica del Área Metropolitana de Medellín Colombia*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=215836>.
- Bunge, M. (2012). *Ontología II*. Gedisa Editorial.
- Cardona, B. M. (2012). *Gestión de vivienda de interés prioritario a partir de la implementación de los planes de ordenamiento territorial* [Tesis de Maestría en Estudios Urbanos Regionales, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9739>.
- CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos*. Naciones Unidas.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (Ed.) (2013). *Documento CONPES: Política Nacional de edificaciones sostenibles*, Constitución Política de Colombia [Const] (Colombia).
- Cortés, M. (2012, 7 de septiembre). ¿Vías Terciarias, las cienientas de la inversión?
- Díaz Reyes, C. A., y Luna, R. (2011). *Calidad de la vivienda Social*. Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial.
- DKV Seguros. (2015). *Hogares saludables, edificios sostenibles. salud y sostenibilidad en nuestros edificios*. El 5º Observatorio DKV de Salud y Medio Ambiente, España.
- Gómez Gutiérrez, C., y Gomez Sal, A. (2013). *Referencias para un Analisis del Desarrollo Sostenible*. Universidad de Alcalá.
- Haramoto, E. (1995). Vivienda social: un desafío para la sustentabilidad del desarrollo. *Revista INVI*, 10(24), 18-33. <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62041>.
- Johansen, O. (2015). *Introducción a la teoría general de sistemas*. Editorial Limusa.

- Kriebler, J. (1999). *Design Process; High Performance Building Guidelines*. Department of Design; Construction.
- Leff, E. (1998). *Saber ambiental*. Siglo XXI Editores.
- López Bernal, J. R., y Daza Riaño, J. A. (2018). *Evaluación de Parámetros necesarios para obtener certificación*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Marín Villegas, J. (2019). *Reflexiones en torno al concepto de hábitat humano*. Universidad Bío Bío.
- Naciones Unidas. (1996, 3–14 de junio). Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos (hábitat II). Estambul. [https://www.un.org/es/events/pastevents/unchs\\_1996/](https://www.un.org/es/events/pastevents/unchs_1996/).
- Novoa, A., A. B. Ana M. Novoa, Bosch, J., Díaz, F., Malmusia, D., Darnell, M., y Trilla, C. (2014). El Impacto de la crisis en la relación entre vivienda y salud. *Gaceta Sanitaria*, 28(1), 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.02.018>.
- Peralta, E. (2016). Teoría general de los sistemas aplicada a modelos de gestión. *Aglala*, 7(1), 122–145. <https://doi.org/10.22519/22157360.901>.
- Perevochtchikova, M. (2015). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*, 22(2), 283–312. <http://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v22n2/v22n2a1.pdf>.
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. (2016). *Índice de prosperidad urbana en la República de México. Reporte nacional de la prosperidad urbana en México*. City Prosperity Initiative. <https://implantepic.gob.mx/librosemanal/CPI-Reporte-Ciudades-Mexico-2016.pdf>.
- Quesada, F. (2015). Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: análisis comparativo de cinco métodos internacionales. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(1), 56–67. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/444>.
- Rodríguez Potes, L. M., Osorio Chavez, H., Villadiego Bernal, K. D. C., y Padilla-Llano, S. (2018). Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(3), 19–26. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n3.5205>.
- Valencia, D. (2021). *Criterios de evaluación de la sustentabilidad ambiental en la vivienda social en Medellín (Colombia)* [Trabajo de Doctorado en Medio Ambiente en construcción].

Valencia Londoño, D. E. (2018). La vivienda sostenible. *Revista de Ingenierías*, 17.

Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, 28, 41-423. DOI:<https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>.

# Impactos de la minería a cielo abierto asociada a la construcción a comunidades cercanas

Impacts of Open Sky Mining Associated with Construction in Nearby Communities

*Carlos Alberto Mejía Barrera*<sup>36</sup>

*Carlos Mauricio Bedoya Montoya*<sup>37</sup>

---

<sup>36</sup> Arquitecto, Magister en Construcción, Docente Investigador Universidad de San Buenaventura Medellín, Docente Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia. Correo electrónico: carlos.mejia@usbmed.edu.co, camejiab@unal.edu.co.

<sup>37</sup> Arquitecto constructor, Magíster en Hábitat, Doctor en Proyectos, Docente Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia. Correo electrónico: cmbedoya@unal.edu.co.

## Resumen

El presente capítulo, aborda una reflexión con respecto a la minería a cielo abierto para la extracción de materiales pétreos y los impactos generados hacia comunidades cercanas desde dos aspectos: el primero es el fenómeno de la corrosión o abrasión eólica y el segundo, el fenómeno de la isla de calor.

Para la determinación de la corrosión se estableció un perfil eólico con el fin de identificar la dirección y la velocidad del viento, posteriormente con la ayuda de microscopía avanzada electrónica de barrido, se pudo observar la microestructura de las fachadas de las casas orientadas hacia el norte, en dirección a la cantera, y hacia el sur, en sentido opuesto a la cantera.

El fenómeno de la isla de calor se establece determinando la temperatura superficial, a través del uso de imágenes satelitales tipo *LANDSAT* que con la ayuda de programas de información geográfica, ajustadas y rectificadas, se determina la temperatura superficial de la zona de estudio.

Se pudo determinar que el viento en horas diurnas pasa primero por la cantera, por lo cual hay arrastre de material particulado, por otra parte, el viento aumenta su temperatura al pasar por lugares donde la capa vegetal ha sido removida.

Se pudo establecer un deterioro acelerado en las fachadas de la comunidad, cuyas viviendas se encuentran en orientación hacia la cantera, además del aumento en la temperatura superficial de la cantera, lo que implica un aumento en la temperatura local de la comunidad.

**Palabras Clave:** Corrosión, abrasión eólica, fenómeno de la isla de calor, minería a cielo abierto.

## Introducción

La arquitectura y la construcción demandan grandes gastos energéticos con el fin primordial de crear hábitats aptos para el ser humano, esto implica la modificación del paisaje, domesticando la naturaleza y generando entornos artificiales que en algunos casos parecieran ser naturales. La ciudad o los centros poblados, son los casos más evidentes de la mano del hombre sobre la tierra y la domesticación de la naturaleza (Girardet, 2001).

El cambio de los modos de vida de los humanos, la manera de movilizarnos en el espacio, el consumo acelerado de materias primas y su posterior transformación en otros productos, la alta explosión demográfica, sobre todo en países en vías de desarrollo, el modelo económico actual de la oferta y la demanda, el acelerado consumo de recursos naturales no renovables, entre muchas otras causas, han desencadenado el deterioro acelerado del medio ambiente, de tal manera que es inminente el cambio climático global debido al efecto invernadero, deterioro de la calidad del agua superficial, deterioro de la calidad del aire debido a partículas suspendidas en el aire, PST<sup>38</sup>, y en general, el deterioro de los hábitats humanos (Aguiló, 2005).

Los recursos naturales no renovables son una de las fuentes de ingresos más alta en los países que cuentan con estos recursos y que paradójicamente se encuentran en vías de desarrollo como ocurre en Colombia, por otro lado, la materialización de la arquitectura conlleva a las labores mismas de la construcción, labores que para tales fines requiere de materiales que se encuentran en la corteza terrestre en su mayoría (Bedoya Montoya, 2015).

Las materias primas utilizadas en nuestro contexto para la construcción o para la fabricación de elementos a utilizar en la construcción, son extraídas directamente de la minería.

El aumento desmesurado en las explotaciones mineras a cielo abierto para la extracción de materiales pétreos en la industria de la construcción, que en nuestro contexto se pensaría que es un tema netamente rural, es en realidad un aspecto al cual nos vemos abocados diariamente en las áreas urbanas. (Mejía Barrera, 2014, p.1)

---

<sup>38</sup>Partículas Suspendidas en el Aire.

De tal manera que la problemática de la minería a cielo abierto no solo es en zonas completamente alejadas a los centros urbanos, además el crecimiento de las zonas urbanas en función de la explosión demográfica ha convertido esta problemática en tema de análisis.

El concreto, es uno de los materiales más utilizado en la construcción no solo localmente sino a nivel mundial “El concreto es el segundo producto de mayor consumo en la Tierra, después del agua” (Sakai, como se citó en Vasconcelos, 2010, p.4) además cabe anotar que “entre un 80 y un 85% del concreto es compuesto por agregados pétreos” (Mejía Barrera, 2014, p. 1) lo que implica de manera directa una explotación de materiales a través de la minería para la producción de concreto. Estas explotaciones mineras en la mayoría de los casos se hace a cielo abierto, y la técnica de extracción del material pétreo depende de la manera en la que se encuentra dispuesto, es decir, puede ser material aluvial, proveniente del arrastre de roca por medio de fuentes hídricas, o a partir de un stock de material pétreo depositado en la corteza terrestre; para ambos casos la extracción se realiza a cielo abierto, en el primer caso se extrae el material pétreo de la fuente hídrica y posteriormente se debe acopiar el material en un lugar y luego triturar hasta alcanzar el tamaño requerido para su uso, en el segundo caso, el stock se debe ir extrayendo a partir de técnicas que van desde la voladura con dinamita, pasando por el arranque del material con maquinaria pesada e incluso de manera manual, de igual manera se almacena y posteriormente se tritura hasta alcanzar el tamaño necesario para su uso.

Cualquiera sea el caso de extracción de materiales pétreos implica un procesamiento posterior de la roca, mínimamente la trituración primaria y secundaria, en las cuales se reduce el tamaño hasta llegar a las dimensiones requeridas. La extracción a gran escala implica mayores impactos, puesto que el procesamiento de la roca además de generar ruido, genera material particulado, caso contrario a la extracción artesanal, ya que se extrae de fuentes aluviales o stock de roca de manera manual y con la ayuda de cribas, se obtienen los tamaños de material requerido, por lo que se podría decir que, la trituración de roca es casi nula, solo se realiza la selección.

Las afectaciones al medio ambiente y a los grupos humanos que se encuentran alrededor de la minera asociada a la construcción puede ser diversa y relevante, las ciudades o centros poblados siguen su tendencia al crecimiento en el suelo

urbano, donde necesariamente se debe incorporar suelo rural al urbano. En este sentido, la minería asociada a la construcción cobra mayor relevancia, puesto que allí se encuentran las materias primas para la construcción, además que, por su ubicación estratégica cercana a la ciudad o dentro de ella, es preferible utilizar estos materiales a tener que traerlos desde otras regiones, ya que implicaría altos costos en los transportes, una complejidad logística y mayor demanda de gasto energético que conlleva el transporte de los materiales.

Si la ciudad es el escenario en el cual se resume la grandeza de la civilización humana, también es allí en donde se manifiestan las mayores desigualdades sociales y en donde, a medida que la ciudad crece, surgen las más agudas contradicciones entre medio ambiente y desarrollo, entre sostenibilidad y deterioro. (Agudelo, 2009, p. 177)

En este caso, se observarán dos afectaciones generadas por la minería a cielo abierto en la extracción de materiales pétreos para la confección de concreto hacia las comunidades cercanas, la primera, se encuentra ligada a las partículas suspendidas totales en el aire (PST) y su efecto en un fenómeno denominado corrosión o abrasión eólica, y la segunda, tiene que ver con el efecto de la isla de calor a partir de la medición de la temperatura superficial.

## Metodología

La reflexión propuesta, se aborda a partir de ejercicios exploratorios de tipo cuantitativo correlacionales con un enfoque sistémico. Exploratorios, porque trata de indagar acerca de un fenómeno como la minería, donde en el imaginario colectivo, la extracción de materiales pétreos para la confección de concreto no se asocia de manera directa con la minería intensiva; cuantitativo dado que se hace necesario estimar las cantidades y magnitudes para poder valorar situaciones numéricamente, y sistémico, dado que se intentan hacer relaciones que a simple vista parecen estar desligadas, relaciones que se pueden establecer partiendo de los principios de pensamiento complejo.

Los objetos de estudio a relacionar son dos, el primero es la mina a cielo abierto (ver figura 50). La explotación del mineral está ubicada en la ciudad de Bello, en el costado oriental en límites con Medellín. Se conoció por muchos años como Canteras de Colombia, pero recientemente, también se le conoce como la cantera de ARGOS. Al ser una cantera, su principal producto es el agregado

triturado para concretos tipo dunita, cuya extracción y producción es mecanizada. Sus reservas se calculan en 16000000 millones de metros cúbicos, por espacio de 133 años, ya que según cálculos, se produce anualmente 120000 metros cúbicos (Rojas Ramírez, 2008).

La presencia de explotaciones mineras en este municipio es importante, dándose la existencia de más de 15 títulos, de los cuales se obtienen agregados finos y gruesos de cantera, como también material aluvial.

El segundo objeto de estudio, también en Bello, es la comunidad del barrio Santa Rita ubicada en la Comuna 11 (ver figura 50). Al igual que otros asentamientos del Valle de Aburrá, se dio espontáneamente y con el tiempo se fue consolidando. Sus pobladores suelen ser víctimas del desplazamiento forzado de campos y pueblos en situaciones de violencia. Por lo tanto, es un barrio que no obedeció a una planificación institucional, sino que fue llevada a cabo por quienes vendían los lotes y su posterior materialización, se dio por autoconstrucción.

Es el caso de las luchas por el techo, a través de las cuales sectores populares, de manera ininterrumpida desde que se inicia en forma el proceso de urbanización hasta nuestros días, construyeron cientos de asentamientos ilegales (barrios piratas o invasiones) en ciudades grandes y medianas. (Arango, 2001, p. 230)

Figura 50

*Objetos de estudio.*



*Nota:* Elaboración propia, adaptado a partir de <http://maps.google.com/>.

Cuando el fenómeno de la ocupación de este sector se dio, la mina Canteras de Colombia ya estaba emplazada en el territorio.

Los fenómenos a correlacionar con los objetos de estudio son dos: el primero está asociado a las PST, que arrastradas por el viento, pueden deteriorar de manera acelerada una superficie en un fenómeno denominado corrosión; y el segundo, es el fenómeno de la isla de calor, provocada por el aumento de la temperatura local debido a la absorción de rayos ultravioleta (UV), de materiales expuestos a los rayos directos del sol. Ambos fenómenos, afectan las comunidades cercanas a los lugares donde se extraen materiales pétreos para la confección de concreto.

Para determinar el fenómeno de corrosión, es necesario identificar cómo se mueven los vientos entre los dos objetos de estudio a través de un perfil eólico, con un anemómetro tipo estación *La Crosse Technology OW 2310* (ver figura 51).

**Figura 51**

*Anemómetro tipo estación La Crosse Technology OW 2310.*

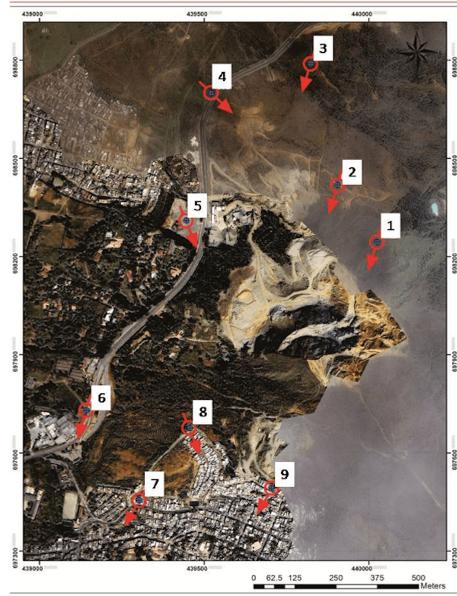


*Nota:* Elaboración propia, adaptado de <http://www.lacrossetechnology.com/2310/>.

Los puntos elegidos bordearon la mina a cielo abierto, debido que no fue permitido el ingreso al interior de ella, el cual topográficamente desciende de este a oeste, y al interior del barrio, en la zona más próxima a la mina a cielo abierto (ver figura 52).

Figura 52

*Puntos del perfil eólico.*



*Nota:* Elaboración propia, adaptada a partir de SIG.

Posteriormente se identifican cuatro fachadas de vivienda en el frente más próximo del barrio hacia la cantera, dos ubicadas en dirección norte (hacia la cantera) y dos ubicadas en dirección sur (en sentido opuesto a la cantera), ambas fachadas poseen características equivalentes, revocadas y pintadas en temporalidades similares, de estas fachadas se extraen muestras que serán sometidas posteriormente a microscopía electrónica de barrido avanzada, con el fin de observar su microestructura y, a partir de un análisis comparativo, poder establecer tanto sus similitudes como sus diferencias (ver figura 53, figura 54, figura 55 y figura 56).

**Figura 53***Fachada Norte 1 (N1).*

*Nota:* Elaboración propia.

**Figura 54***Fachada Norte 2 (N2).*

*Nota:* Elaboración propia.

**Figura 55**

*Fachada sur 1 (S1).*



*Nota:* Elaboración propia.

**Figura 56**

*Fachada sur 2 (S2).*



*Nota:* Elaboración propia.

Para determinar el efecto de la isla de calor, además de definir la zona de estudio, es necesario identificar el tipo de isla de calor a trabajar. Se pueden identificar tres tipos de isla de calor urbana: de la capa de dosel (*urban canopy layer*), de la capa de límite (*urban boundary layer*) y de superficie (Oke, 1976).

La primera de ellas está relacionada con la superficie y llega hasta la altura media de las edificaciones (Trujillo Uribe, 2014).

Al tener distintas metodologías para medir la temperatura de las capas atmosféricas (estación climática) y de las superficies (sensores aéreos), se hace necesario establecer las diferencias entre estos dos tipos de calor para permitir una exacta interpretación de las conclusiones y del método empleado a nivel mundial (United States Environmental Protection Agency, 2017) (ver tabla 19).

**Tabla 19**

*Características básicas de la isla de calor superficial y atmosférico.*

| Parámetro                                  | UHI Superficial   | UHI Atmosférico   |
|--|---|---|
| Desarrollo temporal                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presente en todo el día y la noche.</li> <li>• Es más intenso durante el día y el verano.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ser insignificante o no existe durante el día.</li> <li>• Intenso durante la noche, el atardecer y en invierno.</li> </ul> |
| UHI Pico (Condiciones de UHI más intensas) | Mayor variación espacio temporal: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Día: 10 a 15°C.</li> <li>• Noche: 5 a 10°C.</li> </ul>             | Menor variación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Día -1 a 3°C.</li> <li>• Noche -7 a 12°C.</li> </ul>  |
| Método de identificación más utilizado     | Medición Indirecta: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Percepción remota.</li> </ul>  | Medición directa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones climáticas fijas.</li> <li>• Atravesadores móviles</li> </ul>                                       |
| Representación                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Imagen térmica.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas de isotermas.</li> <li>• Gráfica de temperatura.</li> </ul>  |

*Nota:* Elaboración propia, adaptado de United States Environmental Protection Agency (2017).

En este ejercicio se determina el efecto de la isla de calor vinculando la temperatura superficial a partir de imágenes satelitales tipo *LANDSAT*, específicamente *LANDSAT 7*. Estas imágenes, almacenan en cada pixel un valor entre 0 y 255 que se conoce como número digital, estos a su vez, representan un valor de reflectancia de la superficie (dependiendo del sensor y de la banda, 120 × 120

m o 60 × 60 m de superficie) y de la distancia a la que se encuentre el satélite de la superficie terrestre, por lo tanto, las imágenes obtenidas por los satélites *LANDSAT*, para a poder interpretarlos como valores de temperatura superficial, ya sea en grados Celsius o Kelvin, se necesita convertir estos números digitales mediante ecuaciones ajustadas a cada sensor (U.S. Geological Survey, 2019).

Cada sensor tipo *LANDSAT* posee características que permite tomar valores de las imágenes tomadas, de tal manera que la precisión de la información, sobre todo hablando del espectro de la reflectancia superficial, está directamente relacionada con el ancho de la celda, esta puede ser de 60 m × 60 m o 120 m × 120 m, según sea el modelo del sensor remoto tipo *LANDSAT*, además de tomar valores de longitud de onda, registros, nubosidad, entre otros parámetros.

**Tabla 20**

*Características básicas de los sensores remotos tipo LANDSAT.*

| Sistema   | Lanzamiento<br>(fin de uso) | Instrumento<br>Instrumento | Resolución<br>espacial<br>(metros) | Alt (km) | R (Días) |
|-----------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------|----------|
| LANDSAT 1 | 7/23/1972<br>(1/6/1978)     | RBV                        | 80                                 | 917      | 18       |
|           |                             | MSS                        | 80                                 |          |          |
| LANDSAT 2 | 1/22/1975<br>(2/25/1982)    | RBV                        | 80                                 | 917      | 18       |
|           |                             | MSS                        | 80                                 |          |          |
| LANDSAT 3 | 3/05/1978<br>(3/31/1983)    | RBV                        | 40                                 | 917      | 18       |
|           |                             | MSS                        | 80                                 |          |          |
| LANDSAT 4 | 7/16/1982                   | MSS                        | 80                                 | 705      | 16       |
|           |                             | TM                         | 30                                 |          |          |
| LANDSAT 5 | 3/1/1984                    | MSS                        | 80                                 | 705      | 16       |
|           |                             | TM                         | 30                                 |          |          |
| LANDSAT 6 | 10/5/1993<br>(10/5/1993)    | ETM                        | 15 (pan)                           | 705      | 16       |
|           |                             |                            | 30 (MSS)                           |          |          |
| LANDSAT 7 | 1/4/1999                    | ETM+                       | 15 (pan)                           | 705      | 16       |
|           |                             |                            | 30 (MSS)                           |          |          |

*Nota:* Elaboración propia, adaptada de la NASA (2007).

En la tabla 20, se pueden observar los datos más relevantes de las misiones de los satélites tipo *LANSAT* para la toma de información alrededor del planeta tierra, estas misiones hacen parte del programa de la *Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio* (NASA).

En la tabla 21 se pueden observar los comparativos de las imágenes *LANDSAT 5 TM* y *LANDSAT 7 ETM+*, en cuanto a la longitud de onda medido en metros para la resolución de las imágenes en el espectro de importancia, temperatura superficial.

**Tabla 21**

*Resolución de la longitud de onda de satélites LANSAT 5 y 7.*

| Satélite     | Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ ) | Resolución espacial (metros) | Satélite       | Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ ) | Resolución espacial (metros) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------------|
| LANDSAT 5 TM | (1) 0.45 a 0.52                    | 30                           | LANDSAT 7 ETM+ | (1) 0.45 a 0.52                    | 30                           |
|              | (2) 0.52 a 0.60                    | 30                           |                | (2) 0.56 a 0.60                    | 30                           |
|              | (3) 0.63 a 0.69                    | 30                           |                | (3) 0.63 a 0.69                    | 30                           |
|              | (4) 0.76 a 0.90                    | 30                           |                | (4) 0.76 a 0.90                    | 30                           |
|              | (5) 1.55 a 1.75                    | 30                           |                | (5) 1.55 a 1.75                    | 30                           |
|              | (6) 10.4 a 12.5                    | 120                          |                | (6) 10.4 a 12.5                    | 60                           |
|              | (7) 2.08 a 2.35                    | 30                           |                | (7) 2.08 a 2.35                    | 30                           |
|              |                                    |                              |                | (8) 0.52 a 0.90                    | 15                           |

*Nota:* Elaboración propia, adaptada de la [NASA \(2007\)](#).

Una vez las imágenes satelitales son seleccionadas por su calidad y por contener la mayor cantidad de información posible para las zonas de estudio, se procede a realizar los ajustes de proyección, georreferencia y toma de datos alfanuméricos con el software *ArcGis 10*.

Con el fin de determinar la temperatura superficial a partir de las imágenes *LANDSAT 7*, es necesario corregir y convertir la información alfanumérica contenida en cada imagen, en información específica a ser utilizada, por lo tanto, la estimación de la temperatura superficial se trabajará de acuerdo con lo estipulado en el manual *LANDSAT 7 Science Data Users Handbook* de la NASA y compilado en el trabajo de [Trujillo \(2014\)](#), las ecuaciones se presentan a continuación:

*Ecuación 1:* transformación de números digitales a irradiación. Esta ecuación transforma los números digitales de las imágenes que están a 8 bits y que van de 0 a 255, a unidades de radiación (radiance) cuyas unidades de medida son:  $\text{watts}/(\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m})$  ([NASA, 2007](#)).

$$L\lambda = \left( \frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{QCALMAX - QCALMIN} \right) (QCAL - QCALMIN) - LMIN\lambda$$

Donde:

$L\lambda$ : Irradiación espectral en la apertura del sensor en watts/(m<sup>2</sup>\*ster\* $\mu$ m).

$QCAL$ : Valor del píxel cuantificado en ND (número digital).

$LMIN\lambda$ : Irradiación espectral correspondiente al  $QCALMIN$  en watts/(m<sup>2</sup> \* ster\* $\mu$ m).

$LMAX\lambda$ : Irradiación espectral correspondiente al  $QCALMAX$  en watts/(m<sup>2</sup> \* ster\* $\mu$ m).

$QCALMIN$ : El valor mínimo de píxel cuantificado (correspondiente a  $LMIN$ ) en DN es igual a 1 para productos del LPGS (Level 1 Product Generation System) y productos del NLAPS (National Landsat Archive Production System) procesados después del 4/4/2004, mientras que para productos del NLAPS procesados antes de 4/5/2004 es igual a 0.

$QCALMAX$ : Número mayor de píxel cuantificado (correspondiente a  $LMAX$ ) en DN=255.

*Ecuación 2*: esta ecuación permite transformar la irradiación en temperatura superficial en grados Kelvin (NASA, 2007).

$$T = \frac{k2}{\ln\left(\frac{k1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Dónde<sup>39</sup>:

$T$ : Temperatura en grados Kelvin efectiva en satélite.

$k1$ : Constante de calibración 1.

$k2$ : Constante de calibración 2.

$L\lambda$ : Irradiación espectral en la apertura del sensor en watts/(m<sup>2</sup>\*ster\* $\mu$ m).

<sup>39</sup>Elaboración propia, adaptado de la NASA (2007) Estas ecuaciones arrojan el resultado en grados Kelvin, para pasarlo a grados Celsius se le resta 273.15. La tabla 22 y la tabla 23, muestran las constantes de calibración y demás parámetros utilizados.

Tabla 22

Constantes de calibración de la banda térmica para LANDSAT 7.

| Sensor    | Constante 1–k1<br>W/(m <sup>2</sup> *ster*μm) | Constante 2–k2<br>Kelvin |
|-----------|---|--------------------------|
| LANDSAT 7 | 666.09  | 1282.71                  |

Nota: Elaboración propia, adaptada de la NASA (2007).

Tabla 23

Parámetros LANDSAT 7.

| # de Banda | ETM+ Rangos espectrales de reflectancia<br>vatos/(m <sup>2</sup> *ster*μm) |        |           |        |  |        |           |        |
|------------|--|--------|-----------|--------|--|--------|-----------|--------|
|            | Procesadas antes de Julio 1 del 2000                                       |        |           |        | Procesadas después de Julio 1 del 2000 |        |           |        |
|            | Low Gain   |        | High Gain |        | Low Gain                               |        | High Gain |        |
|            | LMIN   | LMAX   | LMIN      | LMAX   | LMIN                                   | LMAX   | LMIN      | LMAX   |
| 1          | 6.20   | 297.50 | 6.20      | 194.30 | 6.20                                   | 293.70 | 6.20      | 191.60 |
| 2          | 6.00   | 303.40 | 6.00      | 202.40 | 6.40                                   | 300.90 | 6.40      | 196.50 |
| 3          | 4.50   | 235.50 | 4.50      | 158.60 | 5.00                                   | 234.40 | 5.00      | 152.90 |
| 4          | 4.50   | 235.00 | 4.50      | 157.50 | 5.10                                   | 241.10 | 5.10      | 157.40 |
| 5          | 1.00   | 47.70  | 1.00      | 31.76  | 1.00                                   | 47.57  | 1.00      | 31.06  |
| 6          | 0.00   | 17.40  | 3.20      | 12.65  | 0.00                                   | 17.04  | 3.20      | 12.65  |
| 7          | 0.35   | 16.60  | 0.35      | 10.93  | 0.35                                   | 16.54  | 0.35      | 10.80  |
| 8          | 5.00   | 244.00 | 5.00      | 158.40 | 5.00                                   | 243.10 | 5.00      | 158.30 |

Nota: Elaboración propia, adaptada de la NASA (2007).

Una vez las imágenes se recortan, corrigen y se incorporan los valores numéricos; se procede a determinar valores para la temperatura superficial de las zonas de análisis. Estos valores ya específicos se pueden calcular a través de ArcGis 10 como se enuncia a continuación:

*Paso 1.* Se toma de la imagen LANDSAT la banda 6\_VCID\_2 (o banda de mayor resolución radiométrica *High Gain*) y mediante el uso de la calculadora raster, se aplica la ecuación 1, obteniéndose así el raster con los valores de radiancia.

*Paso 2.* Con el raster de valores de radiancia aplicando la ecuación 2, se obtiene el raster de temperatura; el cual se encuentra en valores de grados Kelvin.

*Paso 3.* Mediante una operación en la calculadora raster, se transforman los valores de grados Kelvin (°K) a Celsius (°C) con la ecuación °K = °C + 273.

*Paso 4.* Con operaciones de diferencia entre rasters obtenidos en el paso anterior, se obtienen los cambios de temperatura entre varias temporalidades, esto permitirá interpretar la presencia de islas de calor o incrementos de temperatura en las diferentes zonas del área de estudio.

De esta manera se obtienen imágenes que contienen la información de temperatura superficial, a partir de las cuales se desarrolla todo el proceso de la determinación del fenómeno de la isla de calor.

En el fenómeno de la isla de calor a partir de la temperatura superficial, es necesario tener en cuenta que, cuando la imagen satelital capta los datos de manera remota, es posible que la superficie terrestre se encuentre húmeda debido a una precipitación, este hecho es difícil de controlar y calcular, porque si bien es posible determinar la cantidad de lluvia caída en un periodo determinado, es muy complejo alinear las variables de toma de imagen satelital, hora e intensidad de la lluvia. Para el caso específico de la presente investigación, no se tendrá en cuenta de manera directa esta variable, que probablemente afecte los datos obtenidos, pero se tratará de interpretar la misma en los resultados obtenidos.

## Resultados

Los regímenes de viento diurno entre los objetos de estudio, siguen las generalidades de los regímenes de vientos en el Valle de Aburrá, donde estos tienen una predominancia de Norte a Sur con desviaciones Oriente – Occidente.

En el micro perfil, los vientos predominantes Norte-Sur, se desvían Oriente-Occidente y Occidente-Oriente (ver tabla 24), debido a que estos vientos bajan de la parte alta de la ladera incorporándose a los vientos predominantes del Valle de Aburrá.

La cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín en su vertiente occidental, absorbe o gana más calor que la parte restante del valle en las horas de la mañana. Este calentamiento diferencial, podría crear en estas laderas una célula convectiva por la expansión del aire situado a lo largo de la pendiente y subsidencia del aire frío que se encuentra encima y que comienza a descender al fondo por la parte central. El aire más fresco gana calor y formaría una célula convectiva cerrada. Este fenómeno comienza en las mañanas entre las 8-9 LST y hacia las 11 LST, otra célula en sentido contrario se formaría en la ladera oriental.

Tabla 24

*Dirección y velocidades de los vientos predominantes.*

| Punto | Hora  | Dirección    | Dirección  | Velocidad m/s |        |
|-------|-------|--------------|------------|---------------|--------|
|       |       | predominante | secundaria | Máxima        | Mínima |
| 1     | 08:00 | Norte        | Oriente    | 5.2           | 2.1    |
| 2     | 09:10 | Norte        | Oriente    | 5.8           | 2.0    |
| 3     | 10:15 | Norte        | Oriente    | 2.4           | 0.8    |
| 4     | 11:20 | Norte        | Occidente  | 3.8           | 1.1    |
| 5     | 12:25 | Norte        | Occidente  | 1.8           | 0.1    |
| 6     | 13:30 | Norte        | Oriente    | 1.8           | 0,6    |
| 7     | 14:40 | Norte        | Oriente    | 1.7           | 0.1    |
| 8     | 15:50 | Norte        | Occidente  | 5.2           | 1.8    |
| 9     | 17:00 | Norte        | Oriente    | 2.6           | 0.8    |

*Nota:* Elaboración propia.

Los vientos valle-montaña alcanzarían la intensidad máxima en la tarde, cuando las células comienzan a debilitarse por el enfriamiento más rápido de las laderas con respecto al fondo del valle.

Queda claro, que si bien, el perfil eólico arrojó los resultados similares al movimiento del viento en el Valle de Aburrá, es evidente que estos vientos antes de ingresar a la comunidad pasan primero por la mina a cielo abierto.

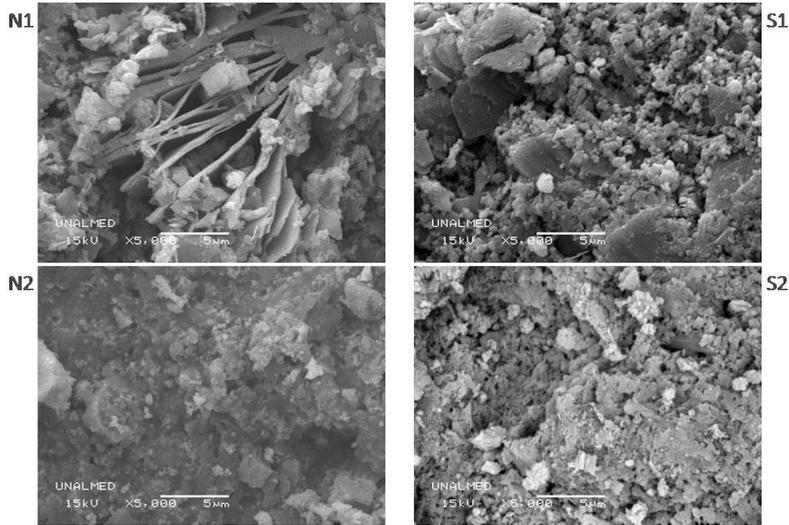
La corrosión es conocida también como abrasión eólica o como un proceso de erosión mecánica, que se produce por el choque de partículas transportadas por un fluido (aire, agua, hielo) contra una superficie. Estos choques sucedidos de manera reiterada afectan el material sano. El resultado es la abrasión o desgaste por fricción. La eficacia de la corrosión depende de la densidad y de la velocidad del viento. También es más eficaz cuanto menos vegetación exista protegiendo las superficies afectadas. (CONGET, 2010, p. 4)

Las muestras tomadas de las fachadas norte 1 (N1), norte 2 (N2), sur 1 (S1) y sur2 (S2), se sometieron a microscopía avanzada de barrido electrónico con ampliaciones a 500×, 1000×, 2000× y 5000×, con el fin de poder determinar su microestructura interna. Posteriormente se realizó un barrido comparativo entre las imágenes, donde se pudo concluir que las imágenes que tenían hasta 1000× de

ampliación no sufrían cambios representativos entre sí, sin embargo, a partir de la ampliación de  $2000\times$  y  $5000\times$  se pueden observar cambios en sus partículas internas. Por tal motivo, se eligieron las imágenes ampliadas a  $5000\times$  de cada una de las muestras para poder identificar los cambios entre cada una de las muestras.

**Figura 57**

*Microscopía avanzada comparativa N1, N2, S1, S2 a 5 000x.*



*Nota:* Elaboración propia.

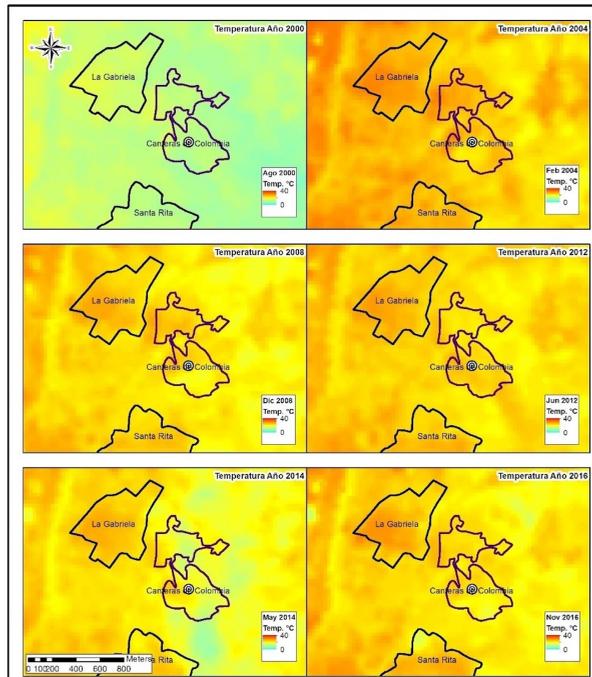
Se puede observar entonces que las muestras N2, S1 y S2 poseen características similares en cuanto a su microestructura, por lo tanto, se procede a realizar un análisis comparativo entre las tres muestras (ver figura 57).

La fachada N2, fue revocada hace 3 años y pintada hace 1 año y 8 meses, y se encuentra más o menos igual a su par en el extremo opuesto S2, incluso a la S1 (donde casi se triplican las edades de revoque y pintura), por lo tanto, sí existe un desgaste o deterioro acelerado.

En la figura 58, se observan las temperaturas superficiales entre los años 2000 y 2016, de la siguiente manera: año 2000, 2004, 2008, 2012, 2014 y 2016. Cabe resaltar que las fechas de las imágenes satelitales varían, y esto es debido a la selección de imágenes, para el posterior procesamiento se eligieron las imágenes con menor cantidad de nubosidad, ruido y con el mayor contenido de información posible.

**Figura 58**

*Temperaturas superficiales Canteras de Colombia – Barrio, Bello. Años 2000-2016.*



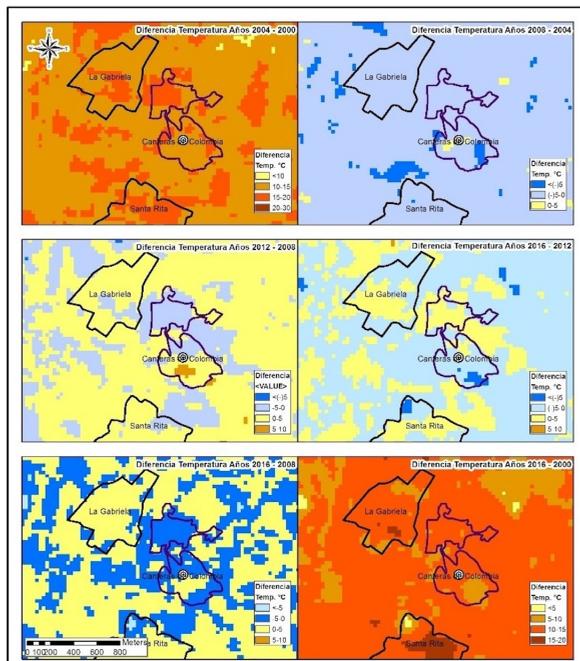
*Nota:* Elaboración propia a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 y ArcGis 10.

Como se puede observar en la figura 59, la temperatura superficial en los objetos de estudio (cantera comunidad), la mínima es de 0°C y la máxima de 40°C, para una media de 20°C, esto sucede en todas las temporalidades analizadas. Para los valores de 0°C, se debe tener en cuenta que en el lugar de análisis no hay estaciones climáticas, por lo tanto, esta temperatura superficial no se da, entonces, en estos espacios, con esta temperatura (pixeles), es posible que haya

una nube o una sombra prolongada que no permite la refracción de la onda que mide la temperatura superficial de manera remota. Sin embargo, más del 80 % del total de la superficie estudiada supera la media de temperatura superficial, es decir, casi todo el territorio analizado se encuentra con una temperatura superficial superior a los 25°C, de tal manera que las superficies que han ganado calor por la exposición a la radiación solar directa pueden transmitir este diferencial de temperatura por medio del aire.

Figura 59

*Diferencia de temperaturas superficiales 2.000–2.016, Canteras de Colombia – Barrio, Bello.*



*Nota:* Elaboración propia a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 y ArcGis 10.

## Discusión

La obtención de materias primas para la confección de concretos y morteros, basada en la minería a cielo abierto y cercana a las comunidades, puede tener efectos contraproducentes en la calidad del aire dada la presencia de material particulado menor a 50 micras. Así mismo, la temperatura puede verse afectada por el efecto de isla de calor urbana, aumentando sus valores, ya que se remueve la capa vegetal inicial de los terrenos, y se deja expuesto un lecho rocoso que absorbe calor y luego proyecta parte de éste al entorno.

Las relaciones Canteras – Comunidad y viceversa, pueden ir más allá de lo meramente perceptual, evidente, intuitivo y social, pueden ser relaciones “invisibles”, y en muchos casos, poco evidentes, que con la ayuda de la técnica y la teoría se pueden inferir y posteriormente establecer.

Las relaciones entre los entornos no son *pasivas-voluntarias*, se trata de una relación *activa-obligante*, dado que está condicionado por factores externos que no son controlables en sí mismos, sino que se pueden mitigar a través de otros elementos o factores.

Es necesario implementar formas más reflexivas en la confección de materiales tan masivamente consumidos como el concreto y el mortero, pues ya se cuenta en el medio local y mundial con opciones de ecomateriales obtenidos a partir del reciclaje de residuos de construcción y demolición —RCD—, como también de residuos industriales valorizados como cementantes. A lo anterior, se suma la posibilidad de diseñar y calcular estructuras de concreto reforzado con secciones de menor consumo de masas, mediante la optimización de áreas de esfuerzo, sin detrimento de su comportamiento físico-mecánico, y garantizando el cumplimiento de las normas de sismo resistencia.

Es posible emplear un sistema semicerrado en cuanto a la producción y confección del concreto, siendo técnica, ambiental y económicamente factible para un ecosistema urbano como el de Medellín y el área metropolitana del Valle de Aburrá (Bedoya Montoya, 2015).

El aumento de la temperatura superficial en zonas en las que se ha removido la capa vegetal, puede modificar la temperatura local, dado que el viento al pasar

por estas superficies aumentan su temperatura y la vez, modifica su densidad, moviéndose más rápido y afectando a comunidades cercanas.

Es necesario incorporar los estudios del fenómeno de la isla de calor a procesos extractivos a cielo abierto, como la minería asociada a la construcción, en cuanto que puede modificar no solo el equilibrio ecosistémico local, sino el aumento de la temperatura local debido a su actividad.

## Conclusiones

Se presentan las conclusiones del estudio en relación con los objetivos planteados.

Se verificó que los vientos predominantes en la zona de estudio son Norte-Sur, y de acuerdo con los regímenes predominantes de viento, éstos pasan primero por la cantera y luego continúan su recorrido hacia el barrio Santa Rita.

El pensamiento complejo y su tejido relacional permiten relacionar el fenómeno, los objetos de estudio y la sistémica de manera general, donde:

La actividad extractivista a cielo abierto se realiza en las horas del día, de manera mecánica, en donde el viento pasa primero por la cantera, viajando luego hacia la comunidad; por lo que se puede inferir que, las PST son arrastradas hacia el barrio provocando el fenómeno de la abrasión eólica, y, por otro lado, el aire se calienta en la cantera antes de continuar su camino hacia la comunidad, lo que generan un aumento en la temperatura local de la comunidad cercana.

La velocidad mínima alcanzada por el viento fue de 0.1 m/s, es decir, el humo por ejemplo sube verticalmente y no hay sensación alguna causada por el viento. La velocidad máxima alcanzada por el viento fue de 5.8 m/s, es decir, el polvo se levanta, las banderas se ondean, ya se presenta arrastre aéreo de partículas suspendidas en el aire.

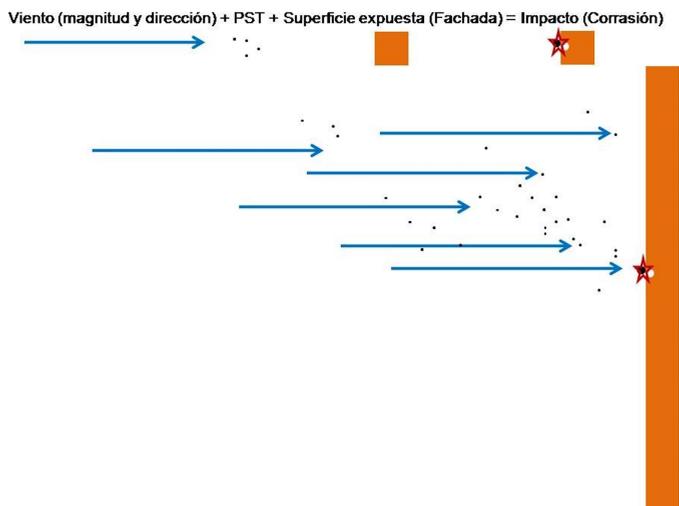
Se pudo corroborar la relación Comunidad-Cantera y viceversa, a través del aire como fenómeno físico (viento).

Se verificó de manera indirecta la presencia de PST que, accionadas por el viento, con su magnitud y dirección, desgastan aceleradamente las fachadas que se encuentran orientadas hacia el norte, es decir, en dirección a la cantera. Aquí se empleó el método usado en el año 2003 por el grupo CONGET de la Univer-

sidad Nacional de Colombia Sede Medellín en una investigación en el mismo sector, pudiendo corroborar que, en efecto, las superficies ubicadas en frente de las direcciones diurnas predominantes de viento, se afectan a mayor velocidad, coincidiendo con la actividad extractivista en horario laboral, presentándose una mayor emisión de partículas a la atmósfera (ver figura 60).

**Figura 60**

*Ilustración del efecto de abrasión eólica.*



*Nota:* Elaboración propia.

Para la temporalidad 2.000–2.004, se puede observar que el 65% del total de la superficie analizada, tuvo cambios de temperatura superficial aumentando entre 10°C a 15°C, un 30% de la superficie analizada tuvo un aumento en la temperatura superficial entre 15°C y 20°C, y solo el 5% de la superficie, tuvo diferencias de temperatura superficial donde ésta se redujo hasta 10°C.

En la temporalidad 2.004–2.008, solo el 4% del total de la superficie analizada tuvo un aumento en la temperatura superficial de hasta 5°C, el 80% de la superficie analizada o mantuvo su temperatura superficial, o disminuyó hasta en 5°C, y finalmente el 16% del total de la superficie analizada disminuyó la temperatura superficial hasta 5°C.

En la temporalidad 2.008-2.012, el 65% del total de la superficie analizada tuvo aumentos de temperatura superficial superiores a 0°C hasta 5°C, el 29% mantuvo la temperatura superficial o disminuyó hasta en 5°C, el 5% aumento la temperatura superficial más de 5°C y menos de 10°C, y solo el 1%, disminuyó su temperatura superficial en menos de 5°C.

Para la temporalidad 2.012-2.016, el 8% del total de la superficie analizada disminuyó en menos de 5°C la temperatura superficial, el 55% disminuyó la temperatura superficial en menos de 0°C hasta 5°C, el 31% de la superficie aumento la temperatura en valores superiores a 0°C y menores a 5°C, y el 1% de la superficie aumento más de 5°C la temperatura superficial.

Para el cambio de temperaturas entre las temporalidades medias 2.008-2.016, es decir los últimos ocho años, el 4% del total de la superficie, disminuyó su temperatura superficial en menos de 5°C, el 51% de la superficie disminuyó su temperatura superficial hasta en 5°C, y finalmente, 55% de la superficie aumento la temperatura superficial hasta en 5°C.

El comparativo de diferenciales de temperaturas superficiales para las temporalidades 2.000-2.016, obtuvo los siguientes resultados: en el 3% del total de la superficie analizada la temperatura superficial aumento hasta en 5°C, el 20% de la superficie aumento la temperatura superficial hasta en 10°C, el 70% de la superficie aumento valores entre 10°C y 15°C, y el 7% tuvo aumentos de temperatura superficial superior a los 15°C y hasta los 20°C.

## Referencias

- Agudelo, L. C. (2009). Sostenibilidad ecológica urbana: lo global y lo local-regional en Universidad Nacional de Colombia (Ed.), *Blas: el hombre y su leyenda* (pp. 173-194). Universidad Nacional de Colombia.
- Aguiló, M. (2005). De factor de progreso, al impacto ambiental y al conflicto mediático. *Informes de La Construcción*, 57(499-500), 87-96. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/485/558>.
- Arango, G. (2001). La vivienda en Colombia en el cambio de siglo: herencias y retos en Brand, P. (Ed.), *Trayectorias urbanas en la modernización del estado en Colombia* (pp. 227-266). Universidad Nacional de Colombia.
- Bedoya Montoya, C. M. (2015). *Del residuo al material: minería a la inversa*. Biblioteca Jurídica Dike. [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57600/Del\\_residuo\\_al\\_material\\_mineria\\_a\\_la\\_inversa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57600/Del_residuo_al_material_mineria_a_la_inversa.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Girardet, H. (2001). *Creando ciudades sostenibles*. Ediciones Tilde.
- Grupo de investigación en Construcción Sostenible y Gestión Tecnológica. (2010). *Edificios de Medellín: entre las canteras y el desgaste erosivo de las fachadas del costado norte*. Universidad Nacional de Colombia.
- Mejía Barrera, C. A. (2014). *Receptores de impactos: una mirada desde el extractivismo hacia las comunidades cercanas a los lugares donde se extraen agregados pétreos para la confección de concreto* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75136>.
- NASA. (2007, 20 de junio). National Aeronautics and Space Administration. Recuperado el 20 de junio de 2017, de [https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7\\_Handbook.pdf](https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf).
- Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277. <https://doi.org/10.1080/00046973.1976.9648422>.

- Rojas Ramírez, I. M. (2008). *Sostenibilidad de la explotación de materiales de construcción en el Valle De Aburra* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Trujillo Uribe, S. (2014). *Estimación de temperatura superficial en el Valle de Aburrá mediante técnicas de percepción remota* [Trabajo de grado para pregrado, Universidad EIA].  
<https://repository.eia.edu.co/handle/11190/409>.
- United States Environmental Protection Agency. (2017). *Heat Island Impacts*.  
<https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-impacts>.
- U.S. Geological Survey. (2019). *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. USGS.  
[https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1927\\_L7\\_Data\\_Users\\_Handbook-v2.pdf](https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1927_L7_Data_Users_Handbook-v2.pdf).
- Vasconcelos, N. (2010, 17 de febrero). EU, Japón y Europa reciclan los desperdicios del concreto: el reciclaje de concreto además de crear estructuras integrales, ayuda en la conservación del medio ambiente. CNN Expansión.  
<http://expansion.mx/mundo/2010/02/18/eu-japon-y-europa-reciclan-los-desperdicios-del-concreto>.

# Ciudad, mujeres y sostenibilidad

City, Women and Sustainability

*Eva Leticia Ortiz Avalos*<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> Arquitecta, Maestra en psicología ambiental, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Correo electrónico: [evaleticiaortiz@gmail.com](mailto:evaleticiaortiz@gmail.com).

## Resumen

Hablar de sostenibilidad nos remite obligadamente a pensar lo social en las ciudades y la vida cotidiana en las urbes del mundo. El presente apartado pretende señalar la relación entre ciudad y las formas de habitar en ella, especialmente para las mujeres, en quienes recae el trabajo de la reproducción y cuidados tal y como ha quedado en evidencia durante el 2020. Las formas de violencia que se producen en diferentes lugares, invisibilizadas e incluso naturalizadas, demandan como nunca su erradicación desde el proceso de diseño, su materialización y reinención para construir espacios, ambientes y sociedades más seguros y habitables para todas.

**Palabras Clave:** ciudad, mujeres, espacio público, sostenibilidad.

## Introducción

La carta europea de las mujeres en la ciudad, propuesta a mediados de los años 90's en Bélgica, como resultado de una línea de investigación cofinanciada por la Sección para la Igualdad de Oportunidades de la Comisión de la Unión Europea (1994–1995), considera que las relaciones sociales, históricas y culturales de las mujeres en una ciudad o un espacio, son necesarias para iniciar cualquier transformación. Plantea que es indispensable establecer paridad cuando se demande una toma de decisiones, ya que esto asegurará la igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres, y en general, promueve una sociedad libre donde las mujeres aprovechen y participen en aspectos relacionados con la planificación y servicios de la ciudad, vivienda, espacios públicos, seguridad y movilidad. Plantea que las ciudades sean repensadas y rediseñadas a través de la percepción de las mujeres, como herramienta para darle a las ciudades equilibrio y dimensión.

Diversos trabajos de investigación han señalado que las mujeres se sienten más inseguras que los varones en la ciudad, por lo que desarrollan conductas de autoprotección, algunas de las cuales implican un uso más limitado de la ciudad en determinadas circunstancias: evitan transitar sin compañía o en horarios nocturnos, a la vez que evitan ciertos lugares o actividades. ¿Cómo podemos pensar la sostenibilidad en las ciudades sin la consideración de las mujeres y su derecho a experimentarlas, de disfrutarlas y por tanto, de cuidarlas?

## Marco teórico

La violencia y el temor limitan el derecho de las mujeres al uso y disfrute de la ciudad y el derecho a su condición de ciudadanas, entonces también condicionan sus posibilidades de participar en la vida económica, social, cultural y política del país. Si lo sostenible implica un pilar social, parece indispensable considerar a la mitad de la población que parece no disfrutar la espacialidad urbana donde habita.

El desconocimiento entre los individuos diversos, o los diferentes usos del espacio o del tiempo de cada uno de ellos, en que se ven obligados a convivir, generan a menudo desconfianza y, en casos extremos, conflicto. Y si, además, como también sucede a menudo, a la diversidad se añaden situaciones de desigualdad de género, de cultura, entre otras; las posibilidades de conflicto se multiplican todavía más, por lo que las vías de entendimiento y solución de este se complican.

Como resultado se ha construido una ciudad “diferente” a la de hace unas décadas desde muchos puntos de vista, incluidos aquellos que afectan a la sensación de miedo. Incluso se argumenta que la “construcción de ciudad” se explica en buena parte por el fenómeno sociológico del miedo. Uno de los orígenes del miedo es sin duda la diversidad —sexual, racial, étnica, religiosa, entre otras— que las ciudades albergan. Así entonces, ante una percepción de vicios públicos emergen las virtudes privadas. Si la ciudad genera inseguridad y especialmente lo que es más cívico dentro de ella como los espacios públicos, la opción de los ciudadanos que se lo pueden permitir pasa por prescindir de todo aquello que no necesita de lo colectivo y público: del parque se pasa al pequeño jardín privado, de la plaza al centro comercial o al *country club*, de la calle a la pasarela, de la policía al guardia de seguridad, etc. De manera que lo público queda como residual, no deseado y al servicio de quien no tiene otra alternativa (Gutierrez, 2005).

Incorporar objetivos sociales a los proyectos urbanos sostenibles se traduce en un proceso que empieza por reflexionar, ser consciente de su necesidad, analizar la realidad incluyendo estudios de género; una segunda parte es incorporar la participación de los diversos grupos de interés que componen la ciudadanía: escuchar sus opiniones, los problemas que tienen en el uso de la ciudad y tomar nota de sus necesidades insatisfechas, y el tercer paso, será incorporar toda esa información a los proyectos y políticas públicas. Sin embargo, existe algún tipo de inercia que se niega a considerar lo anterior y que impide suceda exitosamente y que no corresponde necesariamente a los y las profesionales, sino al conjunto de la sociedad.

Analizar el espacio desde la perspectiva de género ofrece una mirada distinta, que permite explicar la conducta colectiva en el espacio urbano. El temor y la inseguridad, son aspectos que dentro del urbanismo se pretenden atacar con la introducción adecuada de la perspectiva de género en las políticas públicas y en los documentos correspondientes.

La inseguridad se ha constituido en uno de los problemas que más preocupan a la opinión pública y a los gobiernos. Los medios de comunicación masivos instalan y refuerzan un sentimiento de inseguridad y vulnerabilidad colectiva ante la violencia y el delito. Esta situación genera formas de pensar y actuar, a nivel individual y colectivo, que vinculan *mayor seguridad* con más *fuerzas de seguridad*, y demandan acciones de represión a determinados grupos sociales estigmatizados como *peligrosos*, generalmente coincidentes con los sectores con mayores carencias materiales de la sociedad. De esta manera, la seguridad se construye socialmente como un bien posible de adquirir por algunos sectores sociales, mientras otros quedan excluidos. Así las políticas de seguridad se traducen en políticas sectoriales específicas, situación que deja fuera la complejidad del tema, cuyo enfrentamiento requiere la articulación de múltiples políticas.

En este contexto, la *realidad urbana* aparece como inherentemente insegura, situación que se percibe como inevitable y reiterada, con la secuela de sentimientos de diversos grados de miedo y hasta resignación. En la búsqueda de seguridad, en la mayoría de los casos, se favorece la aceptación de propuestas tradicionales y autoritarias, como el simple aumento de personal policial, que no posibilitan ninguna transformación de la realidad social como lo han evidenciado numerosos estudios.

Los medios de comunicación refuerzan esta visión de la ciudad como lugar de peligro y construyen un relato descontextualizado a través de la exhibición de episodios puntuales, sin referirlos a causas estructurales que permitan entender el contexto generador de violencias, con lo que contribuyen a incrementar la sensación de miedo e impotencia.

En relación con las conductas sociales, esta percepción subjetiva ha implicado una restricción en el uso de los espacios públicos urbanos, especialmente de aquellas zonas donde las ciudades demuestran físicamente fracturas sociales. También ha llevado a un aumento de medidas de protección individuales en los domicilios particulares, como rejas, alarmas, seguridad privada, entre otros. De este modo, los espacios públicos se transforman en lugares de tránsito o directamente se evitan, y pasan a ser espacios *ciegos* de la ciudad, lo cual refuerza aún más su peligrosidad. El resultado es una pérdida de los espacios de interacción social, aquellos donde se construye identidad y pertenencia colectiva, lo que favorece el aislamiento y la pérdida de las redes de apoyo y relaciones sociales.

La violencia urbana hacia las mujeres comprende tanto las violencias que transcurren en el ámbito de la vivienda como aquellas que, teniendo lugar en el espacio público, se experimentan o perciben como amenazas. En este sentido, ejercen un efecto de restricción en el acceso y uso de la ciudad y del propio barrio y, en consecuencia, son limitantes de la ciudadanía de las mujeres, en cuanto condicionan sus posibilidades de participar.

Las mujeres se sienten más inseguras que los varones en la ciudad, por lo que desarrollan conductas de autoprotección, algunas de las cuales implican un uso más limitado de la ciudad en determinadas circunstancias y tal limitación afecta sus proyectos vitales, tales como estudiar o trabajar, la recreación o la participación social y política pues gran parte de las conductas de evitamiento, se originan en la forma de socialización temprana respecto del espacio público, un conjunto de normas explícitas o implícitas que lo califican como peligroso para las niñas y las mujeres, a las que no les es *permitido* su uso del mismo modo que a los varones. Entonces si la violencia y el temor limitan el derecho de las mujeres al uso y disfrute de la ciudad, y el derecho a su condición de ciudadanas, también condicionan sus posibilidades de participar en la vida económica, social, cultural y política del país (Nazar y Pomares, 2013). Debe reconocerse que la experiencia emocional negativa puede conducir a limitar la movilidad, a

aislarse de la comunidad, a abandonar espacios públicos o de oportunidad, y de crecimiento, lo que constituye un obstáculo para la democratización del propio espacio en la ciudad.

La importancia del Centro Histórico y especialmente de la Alameda Central como espacios esenciales y de convivencia, se ve reflejada en la cantidad de interacciones sociales, culturales, económicas y turísticas que se dan en ellos. El Centro Histórico de la Ciudad de México, es un espacio que desde inicios del siglo XXI ha sido objeto de diversas intervenciones públicas y privadas con el fin de resaltar su valor histórico y patrimonial. Una de las muchas acciones prioritarias de esta política de *revitalización* o *rescate*, ha sido atender al espacio público, lo cual se dedica muy concretamente a las calles, las plazas y los parques emblemáticos que se encuentran en esta centralidad. Todo proceso de renovación urbana redefine material y simbólicamente cada uno de sus espacios, lo que tiene como consecuencia que las dinámicas de la vida cotidiana y los intereses de quienes habitan la zona sean modificados (Tellez, 2014).

Los espacios públicos, en particular si son espacios centrales, constituyen sitios con características físicas transformables, propensos a cuantificarse, compararse y jerarquizarse. En consecuencia, el espacio público se convierte en un sitio de debate, en el cual se expresan formas de pertenencia socio-territorial y de construcción de entornos de seguridad y estabilidad para todos sus habitantes (Safa, 2001).

## Metodología

Se realizó un estudio cualitativo mediante un método combinado, iniciando con el análisis teórico mediante la información documental y posteriormente, se realizó la verificación en el sitio mediante trabajo de campo. Se decidió estudiar el tema en un espacio emblemático del centro histórico de la Ciudad de México: La Alameda, corazón de la ciudad que supone tránsito intenso en usos y horarios, así como por conectar diversos estratos sociodemográficos (ver figura 61).

Se diseñaron instrumentos específicos orientados a la temática: entrevistas y encuestas realizadas en la zona de estudio donde se consideraron usos y percepciones, se realizaron recorridos de reconocimiento, observación no intrusiva en la zona (recopilación de datos y material fotográfico) a fin de usarlos de manera directa o comparativa.



## Resultados

La muestra se constituyó de 54 % mujeres y 46 % hombres. El 80 % entre los 20 y 50 años; 46 % por trabajo de la zona, 40 % por actividades de recreación y diversión. En su mayoría residentes de la Ciudad de México y específicamente en la zona centro. En los testimonios de las encuestas, los usuarios mencionaron que, a pesar de los años de historia, el Centro Histórico se encuentra bien conservado.

Se pudo comprobar que las mujeres perciben el espacio de manera distinta, para ellas la Alameda Central es: invitante, atractiva, bien planeada, pero insegura. Los encuestados encuentran aspectos atractivos en su zona de trabajo, los cuales los convierten en opiniones positivas, manifestando que les gusta mucho trabajar específicamente en la zona recientemente intervenida. Ambos grupos reconocen el espacio como ruidoso, pero alegre.

Particularmente en la percepción nocturna, las mujeres registran con mayor sensibilidad el espacio y lo consideran inseguro, mal iluminado, silencioso y desagradable. Los mapas de recorridos y los mapas donde señalaron aspectos positivos y negativos evidencian el uso diferenciado según el horario, así como la percepción aumentada de inseguridad para todos los participantes. Se realizaron análisis por cada reactivo y apartado para poder reflexionar sobre su pertinencia, como elementos que apuntan a la sostenibilidad en el estudio de los espacios urbanos, en la ciudad.

## Discusión

La percepción de inseguridad prevaleciente en las ciudades ha motivado la población a dejar de frecuentar ciertos espacios y privarse de realizar ciertas actividades, lo que inhibe la manifestación de la vida social. La reputación de una zona de la ciudad como más peligrosa/insegura, no siempre está basada en hechos o datos reales, más bien, es la percepción la que influye en la decisión de transitar, habitar, o invertir en ella, y todos los espacios públicos no pueden huir de esta lógica.

Los resultados anteriores reflejan que las mujeres encuestadas son más sensibles respecto a la inseguridad. El miedo, lo mismo que la seguridad, tiene referentes y significados distintos para hombres y mujeres. Poner énfasis en el análisis de la percepción de inseguridad permite tomar conciencia y responder

a cómo el miedo limita la libertad de las mujeres y los hombres, ya que la movilidad queda restringida en términos de tiempo (salir menos a ciertas horas del día) y en términos de espacio (evitar ciertas zonas, espacios, etc.), lo que provoca que el sentimiento de pertenencia sea menor y, por lo tanto, se dé menos participación activa de las mujeres (Díaz y Ortíz, 2014).

Con las interrogantes anteriores y sus respectivos resultados, se puede constatar que la movilidad de los habitantes difiere entre días laborales y días de recreación. Por las noches, una gran mayoría de las actividades comerciales y jornadas laborales han concluido, las actividades sociales y recreativas, ya sea peatonales o automovilísticas, se reducen considerablemente, y la mayor parte de los espacios urbanos y públicos quedan vacíos. Los habitantes de la ciudad perciben la noche de distintas maneras, la noche confiere distintas expresiones sensoriales.

Durante la noche, se revelan otras formas de *vivir* la ciudad, sobre todo en el espacio público, donde la socialización nocturna encentra su espacio-tiempo con nuevos usos y procesos temporales de apropiación de calles y plazas, que se convierten en territorios urbanos para usuarios distintos de los que puedan manifestarse cuando hay luz de día (Barrientos et al., 2005).

No es un descubrimiento afirmar que, la mayoría de las ciudades no fueron diseñadas para la oscuridad. Desde cambios en la temperatura, hasta alteraciones en la manera en la que percibimos visualmente colores y sombras, existen muchas diferencias sensoriales entre el día y la noche. Si se analizan y estudian con cuidado, estas diferencias pueden convertirse en oportunidades para diseñar intervenciones que mejoren la calidad de la vida urbana durante la noche, donde ya no tengamos como consecuencia que la noche se convierta en un espacio restringido y excluyente (Seijas, 2018).

La ausencia de perspectiva de género en el diseño de espacios públicos, donde el propósito es proporcionar mejor calidad de vida urbana, tiene como consecuencia que la violencia aparezca en lugares que aún se están planificando o rediseñando.

La violencia y la inseguridad impactan tanto la utilización de la ciudad como su disfrute y aumenta a su vez, abismos socio territoriales, la segregación y fragmentación de sus espacios, donde la noche junto con el diseño que carece de

perspectiva de género, se convierten en zonas restringidas e incluso descalificadas por sus propios habitantes.

Los espacios públicos bien iluminados permiten ordenar la variedad de información contenida en él. En un estudio realizado por [Abramov et al. \(2012\)](#) se encontró que los hombres y las mujeres tienden a asignar diferentes tonos a los mismos objetos, en la mayor parte de los hombres, el espectro visible requiere una longitud de onda ligeramente más larga que las mujeres con el fin de experimentar el mismo tono. Entonces, dado que las longitudes de onda más largas se asocian con los colores *más cálidos*, un tono naranja, por ejemplo, puede aparecer más rojo para un hombre que para una mujer. Del mismo modo, la vegetación es siempre más verde para las mujeres que para los hombres, que la perciben de un tono más amarillo. Dicho estudio concluyó que, en la mayoría de los varones, su espectro de visibilidad necesita una longitud de onda levemente más alta que las mujeres, para poder percibir el mismo tono.

De este modo, podemos afirmar que los resultados de nuestro estudio coinciden con el mencionado, dado que se aprecia que las mujeres son más sensibles en su descripción si un espacio tiene iluminación bien distribuida. Otros estudios similares al anterior ([Boyce, 1973](#)), señalan que a medida que se aumenta la iluminación, la agudeza visual crece; es decir, con más luz es posible distinguir y reconocer mejor los pequeños detalles. El efecto de un cambio de iluminación es mayor en las tareas visuales difíciles. Una mayor iluminación también permite al individuo ejecutar tareas visuales en forma más rápida y precisa ([Bennet, 1977](#)).

Derivado de lo anterior, se puede mencionar que existen necesidades lumínicas diferenciadas por género. Las emociones, las acciones, la percepción y la salud son influenciadas por la iluminación. Para un buen diseño de iluminación, en este caso un espacio público, se necesitan tomar en cuenta diversas necesidades del ser humano para ser diseñados: la visibilidad, crear confort visual, que mediante el diseño de iluminación genere salud, seguridad y bienestar.

Pero basados en los recorridos previos en la zona, los recorridos al momento de realizar las encuestas y los testimonios casuales que se obtuvieron en las mismas, se puede afirmar que las consideraciones y avances tecnológicos en el campo de la iluminación no están funcionando o simplemente no se están poniendo en práctica en La Alameda.

En la actualidad, se sigue percibiendo la división simbólica de los espacios públicos en donde las mujeres quedan excluidas y se les atribuyen más actividades y responsabilidades en un espacio privado, mientras que a los hombres se les sigue manteniendo una jerarquía alta en espacios públicos. Se habla del espacio, de la ciudad como un lugar de uso libre para las mujeres, pero que no se ve reflejado en lo cotidiano.

El peligro disminuye cuando el territorio es conocido (Solís, 2014). Es evidente que no existe ninguna regla que prohíba a los hombres y mujeres transitar distintos espacios o lugares de la ciudad, o transitar de noche, pero en la realidad y en la práctica, es cierto que las mujeres son las que se muestran incapaces de salir o transitar espacios en donde se sienten vulnerables y optan por no hacerlo, atribuyéndolo como una decisión personal, antes de pensar en el hecho de que el espacio no está diseñado para ellas: la sensación y percepción de inseguridad son factores que conducen, debilitan o llega a impedir la presencia de las mujeres en la ciudad.

La importancia de estudiar la percepción de inseguridad ciudadana consiste en que ésta es un factor que disminuye la calidad de vida, ya que fractura el sentido de comunidad, cambia los hábitos de las personas y crea una mayor tendencia a apoyar políticas de mano dura, en donde las libertades individuales se reducen. La percepción de inseguridad en la ciudad y las distintas agresiones que se producen en el espacio público, son algo que se ha vuelto cotidiano para las mujeres y que se ve reflejado en los recorridos que realizan dentro de la ciudad (Fuentes, 2008). A nivel nacional, de 2010 a 2015, una de cada cuatro personas en promedio, ha dejado de salir a caminar a la calle por miedo a la inseguridad. La relación de los habitantes con la ciudad, esta mediada por una representación *masculina* del uso del espacio público.

Estas pautas y restricciones obligan a las mujeres a ejercer un continuo auto-control sobre sí mismas y sobre sus acciones, cuando transitan o permanecen en el espacio público, tales como elegir su vestimenta, adecuar su forma de caminar y actitudes corporales, seleccionar lugares por donde transitar y ocultar algunas partes de su cuerpo. En algunos casos, llegan a abandonar trabajos (perdiendo ingresos y autonomías económicas), estudios (perdiendo capital educativo que les permita tener otro horizonte de vida), o dejan de participar en actividades re-

creativas, políticas comunitarias, lo cual impacta negativamente en el desarrollo de sus vidas y restringe su ciudadanía.

Como se mencionó anteriormente, si la violencia y el temor limitan el derecho de las mujeres al uso y disfrute de la ciudad, y el derecho a su condición de ciudadanas, también condicionan sus posibilidades de participar en la vida económica, social, cultural y política del país (Nazar y Pomares, 2013). Debe reconocerse que, la experiencia emocional negativa puede conducir a limitar la movilidad, a aislarse de la comunidad, a abandonar espacios públicos o de oportunidad de crecimiento, lo que constituye un obstáculo para la democratización del propio espacio en la ciudad.

Las mujeres y los hombres habitan de diferentes formas el territorio, desde el enfoque de género, se debe indagar sobre las necesidades diferenciadas de desplazamiento de varones y mujeres en el territorio: los trayectos de las mujeres en el barrio, áreas cercanas y en relación con la ciudad se asocian, generalmente, al rol que ocupan en el hogar, donde se hacen cargo de la educación, salud y subsistencia del grupo familiar.

Analizar estos trayectos diferenciales significa considerar tanto los obstáculos que aparecen en cada barrio, especialmente los que se relacionan con la inseguridad; por ejemplo: los espacios mal iluminados, solitarios o desiertos, que deben cruzar en sus recorridos cotidianos, como las vías de conectividad del barrio con el resto de la ciudad, utilizadas en viajes por trabajo, educación o para llegar a algún servicio de salud o similar, de mayor complejidad que el barrial, en la búsqueda de entornos sostenibles en lo ambiental, en lo económico, pero sobre todo, en lo social.

## Conclusiones

Reconocer la especificidad de la violencia hacia las mujeres en las ciudades, en los espacios públicos, es un proceso complejo que requiere hacer visibles las causas y consecuencias que tiene en la vida de las mujeres, y el diseño de estrategias complejas que incorporen los factores relativos a la vida cotidiana. Una ciudad democrática es una ciudad segura, inclusiva y equitativa. Para ello, es imprescindible recuperar los espacios públicos como lugares de relación social, de identidad y alteridad, de conflictividad y de expresión comunitaria y política. Y si la sostenibilidad tiene como uno de sus pilares lo social, resulta inevitable e irrenunciable considerar los retos de significa el diseño arquitectónico y urbano para generar experiencias esenciales sobre el hábitat contemporáneo, especialmente para las mujeres en la ciudad, atendiendo a nuestras responsabilidades con el medio ambiente, con las personas y con el tiempo.

## Referencias

- Abramov, I., Gordon, J., Feldman, O., y Chavarga, A. (2012). Sex & vision I: Spatio-temporal resolution. *Biology of sex differences*, 3(20), 1-14. <https://doi.org/10.1186/2042-6410-3-20>.
- Barrientos, A., Benavides, M., y Serrano, M. (2005). Subjetividades colectivas. *Tinkazos: revista boliviana de ciencias sociales*, 18, 99-112. <https://www.redalyc.org/pdf/4261/426141561006.pdf>.
- Bennet, J. (1977). Phosphorylation of chloroplast membrane. *Nature*, 269, 344-346. <https://doi.org/10.1038/269344a0>.
- Boyce, P. (1973). Age, Illuminance, visual performance and preference. *Lighting Research and Technology*, 125-174. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/096032717300500301>.
- Díaz, V., y Ortiz, A. (2014). La ciudad y la arquitectura del miedo. *Revista NODO*, 8(16), 25-42. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5646249>.
- Fuentes, J. L. (2008). La construcción social del miedo y la conformación de imaginarios maléficos. *Iztapalapa: revista de ciencias sociales y humanidades*, 64-65, 93-115. <https://www.redalyc.org/pdf/393/39348722005.pdf>.
- Gutierrez, O. (2005). *La ciudad y el miedo*. Universidad de Girona.
- Nazar, M., y Pomares, N. (2013). Incorporación de la violencia de género en las políticas de seguridad: debates y desafíos. En Red Mujer y Hábitat de América Latina (Ed.), *Cosntruyendo ciudades seguras: experiencias de redes de mujeres en América Latina* [Libro digital]. (pp. 97-118). Ediciones SUR. <http://www.sitiosur.cl/detalle-de-la-publicacion/?PID=3546>.
- Safa, P. (2001). *Vecinos y vecindades en la Ciudad de México*. CIESAS.
- Solís, A. (2014). Preferencias Construcción social del miedo: pensando la ciudad desde las percepciones de seguridad ciudadana. El caso de la ciudad de Managua. *Universidad y pensamiento*, 1, 33-43. <https://portalderevistas.uoli.edu.ni/index.php/3-universidadypensamiento/article/view/147>.
- Sound Diplomacy, y Seijas, A. (2018). *Una guía para gestionar su economía nocturna*. Autor. <https://static1.squarespace.com/static/593eb2a837c58172ed>

556cbb/t/5bf5dad070a6ad4582ec69e9/1542839152447/SoundDiplomacy-NightTimeGuide-Spanish.pdf.

Tellez, L. (2014). La revitalización del Centro histórico de la Ciudad de México: entre la voluntad de la élite y la realidad del pueblo. *Pacarina del Sur*, 5, 19. <http://www.pacarinadelsur.com/home/mascaras-e-identidades/949-la-revitalizacion-del-%20centro-historico-de-la-ciudad-de-mexico-entre-lavoluntad-de-la-elite-y-la-realidad-del-pueblo>.



# Ambiente construido y desempeño técnico

# Propuesta de método para reacondicionamiento de envolvente arquitectónica para edificaciones. Caso de estudio: edificio educativo en Envigado, Antioquia

Proposal of a Method for Refurbishment of  
Building Envelope. Case Study:  
Educational Building in Envigado, Antioquia

*Olga Beatriz Ramírez Gómez*<sup>41</sup>

*Lucas Arango Díaz*<sup>42</sup>

*Alejandro Naranjo Gaviria*<sup>43</sup>

---

<sup>41</sup> Arquitecta, Magister en Bioclimática, Directora de obra, Muros y Techos, Colombia. Correo electrónico: olguisb@gmail.com.

<sup>42</sup> Arquitecto, Magister en Arquitectura y Urbanismo, Docente de Maestría en Bioclimática de la Universidad San Buenaventura, Colombia. Correo electrónico: lucas.arango.diaz@gmail.com.

<sup>43</sup> Arquitecto, Magister en Arquitectura y Urbanismo, Docente de Maestría en Bioclimática de la Universidad San Buenaventura, Colombia. Correo electrónico: alejandro.naranjo@usbmed.edu.co.

## Resumen

Ante la creciente demanda de energía en las ciudades, la necesidad de favorecer la eficiencia energética de las edificaciones ha volcado la mirada al desempeño bioclimático de la envolvente. El presente trabajo, propone un método de evaluación y proposición de readecuación de fachadas que parte del estudio de las condiciones particulares del espacio. Dentro del proceso del método propuesto, se realizan simulaciones computacionales en diferentes momentos: en la fase inicial para la generación de la información a partir de la cual se diseña la metodología, y que a su vez se convierte en los datos de entrada de esta, que darán como resultado la nueva propuesta de envolvente, y luego, en la etapa final, con el objetivo de identificar los cambios generados. Para el caso de estudio, los resultados de las simulaciones con la fachada propuesta evidenciaron cómo la intervención o la generación de una doble piel, tiene un impacto más positivo en el aspecto térmico que en la suficiencia lumínica de los espacios.

**Palabras Clave:** Arquitectura, bioclimática, fachada, reacondicionamiento de edificaciones, retrofit, refurbishment.

## Introducción

El diseño de edificaciones enfrenta importantes retos. No solo debe satisfacer las necesidades desde lo estético, económico y funcional, sino que, además, tiene el compromiso ambiental de la optimización de los recursos. Con la implementación de prácticas de construcción y diseños más eficientes, se estima que el potencial de ahorro de energía en edificaciones nuevas estaría entre un 40 y un 50 %, y en edificaciones existentes, entre un 15 y un 25 % (Guillén et al., 2015).

Las edificaciones existentes son una realidad de consumo, la gran mayoría concebidas con pocos criterios de sostenibilidad. Enfocar los esfuerzos en lo no edificado y desconocer lo existente implica limitar el impacto de las prácticas

sostenibles y sus beneficios; además, el reemplazo total de estas edificaciones no se presenta como una opción viable debido a los altos costos económicos y ecológicos, y el enorme desperdicio en recursos que implica una demolición. Muchos estudios han demostrado que el impacto ambiental de la extensión del ciclo de vida de un edificio es mucho menor que su demolición y reconstrucción (Konstantinou, 2014).

Las intervenciones tipo *Refurbishment*, que en su traducción significa reacondicionamiento, se presentan como una opción viable debido a que están encaminadas al mejoramiento de las construcciones existentes, involucrando modificaciones parciales o totales en su sistema de fachada, impactando de forma directa el confort y el desempeño energético de las mismas. Algunas investigaciones (de Angelis et al., 2017; Nydahl et al., 2019; Soutullo et al., 2018) han destacado los beneficios, desde el punto de vista energético, cuando se implementan estrategias adecuadas para minimizar la excesiva dependencia de la energía eléctrica en la readecuación edificaciones existentes.

Esta práctica, más común en Europa que en América, puede tener diversos propósitos; desde una renovación con objetivos energéticos en edificaciones de mucha edad, hasta el mejoramiento de tipo social. En un caso documentado de Brasil, de una readecuación de fachadas de un conjunto habitacional, se buscaba responder a una problemática de tipo socio económico, donde el mal estado de las fachadas de las viviendas era la causante de deterioro en el entorno y la calidad de vida de las personas. Si bien el interés inicial era un cambio físico, con la readecuación de su envoltente, también se logra mejorar las condiciones de confort lo que implicó disminuciones en consumos energéticos (Flach et al., 2008).

La tendencia actual a la reutilización está enmarcada en una necesidad más global: la de replantear los centros urbanos. Ante el conocimiento de la insostenibilidad del crecimiento disperso de las ciudades, de cara al futuro próximo, “la tarea no es planificar y diseñar nuevos pueblos y ciudades, sino más bien, volver a planificar y rediseñar las ciudades existentes” (Zumelzu, 2011, p. 6); donde el reacondicionamiento de las edificaciones, como pieza constitutiva de las mismas, es el paso más inmediato.

Es importante advertir en las edificaciones existentes una oportunidad de aprovechamiento que busque incorporar la idea de reciclaje en el diseño y la

construcción de una forma más integral, más allá de la materialidad; dirigiéndonos hacia el reacondicionamiento y reutilización de las estructuras y las edificaciones mismas.

La fachada, entendida como una interfaz compleja entre el interior de los edificios y el entorno exterior que tiene la capacidad de funcionar como un elemento protector o regulador contra las fluctuaciones severas del clima externo, es uno de los componentes más susceptibles a intervenir en estas edificaciones existentes, donde no solo se obtienen beneficios en términos de acondicionamiento del espacio interior, sino que a su vez puede lograr interesantes renovaciones de orden estético (Hosseini et al., 2019).

Debido a esto, se hace importante la incorporación de métodos de análisis que permitan tener una comprensión más clara de las necesidades y sirvan como herramienta para el diseño de fachadas optimizadas y consecuentes con las particularidades de cada caso. Este es el objetivo del ejercicio propuesto, a través del desarrollo de un método de trabajo que va desde la evaluación de una condición actual, hasta la proposición de una readecuación de fachada y la posterior verificación de los cambios.

## Caso de estudio: edificio educativo en Envigado

Para el desarrollo el método, se parte de una edificación existente definida como caso de estudio. Sobre esta edificación, luego de analizar su contexto, se realizaron las simulaciones computacionales con el fin de llegar a un diagnóstico más preciso tanto térmico como lumínico. Este diagnóstico, proporcionó la información de entrada para la elaboración de la propuesta de la nueva envolvente.

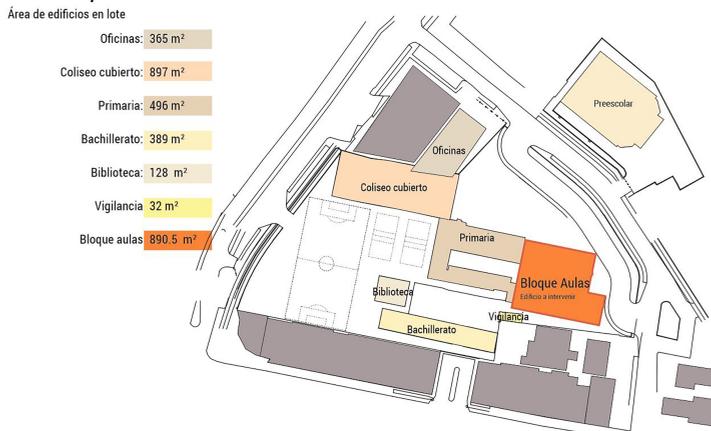
El edificio elegido como caso de estudio, mostrado en la figura 62, forma parte del campus de una institución educativa, localizada en el municipio de Envigado, cerca de la ciudad de Medellín. Una edificación de 20 años, construida en sistema estructural de pórticos en concreto con muros divisorios y fachada en ladrillo a la vista. Cuenta con un total de 20 aulas, aproximadamente de 45.5 m<sup>2</sup> cada una, que en promedio albergan entre 36 y 37 estudiantes (ver figura 62).

Este caso de estudio, como cualquier edificación de tipo educativo, plantea importantes necesidades para sus habitantes. Se trata de espacios ocupados durante el día, con sus respectivas fluctuaciones de temperatura, y que deben

tener unas condiciones óptimas que garanticen la comodidad térmica, visual y auditiva. Diversos autores<sup>44</sup> han discutido el impacto del confort térmico en aulas escolares y su relación con el rendimiento escolar.

**Figura 62**

*Localización bloque de aulas, caso de estudio.*



*Nota:* Elaboración propia.

Desde las primeras aproximaciones, se evidencia las condiciones desfavorables tanto en el aspecto térmico como el lumínico en los diferentes espacios. Como se observa en la figura 63, debido al deslumbramiento generado por el ingreso de rayos solares a espacios interiores se instalaron protecciones solares en el interior de las aulas, lo que no solo deteriora su condición térmica, sino que, además, las hace dependientes de la iluminación artificial para su correcto funcionamiento. Esta condición que en algunas aulas obliga a descartar totalmente la iluminación natural, implica no solo incremento en el consumo energético, sino también, deterioro en las condiciones del espacio interior, renunciando a los beneficios del uso de luz natural en aulas: varios autores<sup>45</sup> plantean que los

<sup>44</sup>Holmberg y Wyon (1969), Hoque y Weil (2014), Jiang et al. (2018), Munksgaard (2005), Murillo y Martínez (2012), Piderit y Bodart (2012), Ricciardi y Buratti (2018), Schoer y Shaffran (1973), Trebilcock et al. (2016), Wargoeki et al. (2005), Wargoeki y Wyon (2007).

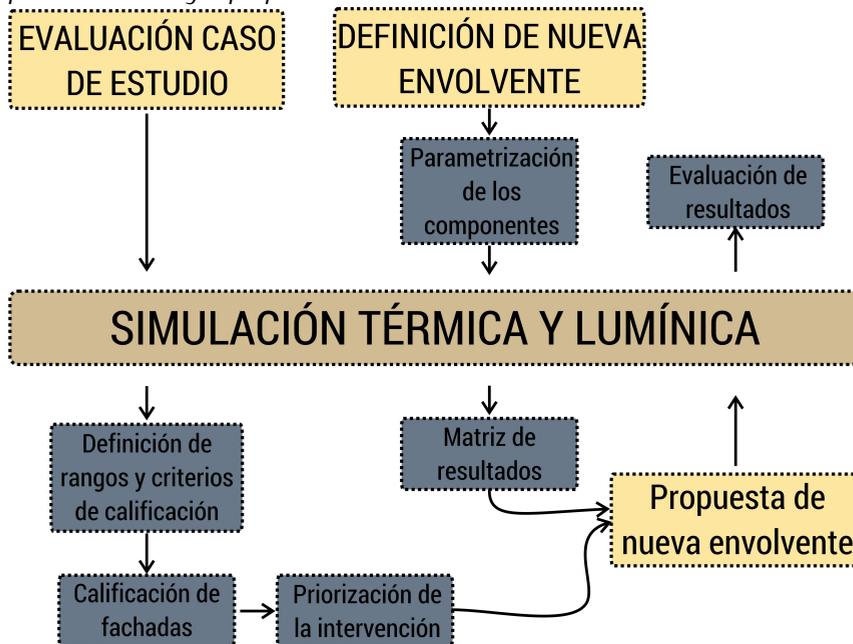
<sup>45</sup>Barkmann et al. (2010), Cachán et al. (2012), California Energy Commission (2003), Figueiro et al. (2002), Hescong (2007), Hescong Mahone Group (1999), Kuller y Lindsten (1992), Murillo y Martínez-Garrido (2012), Plympton et al. (2000).



datos de entrada son proporcionados por las simulaciones computacionales tanto térmica como lumínica (ver figura 64).

Figura 64

Esquema metodología propuesta.



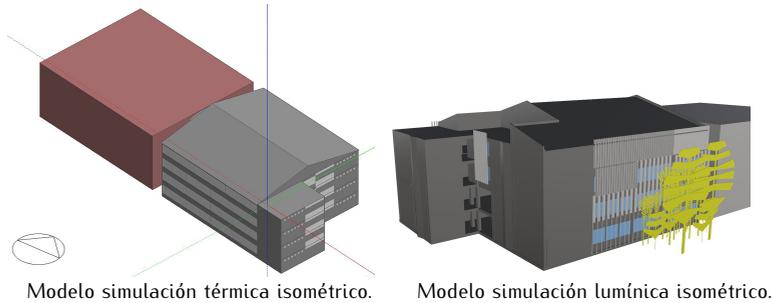
Nota: Elaboración propia.

Para la simulación térmica, se realizó la modelación del edificio existente como se muestra en la figura 65, empleando el *Software DesignBuilder Software*; Esta simulación arrojó las temperaturas anuales por hora de cada aula individualmente en el horario de la jornada académica entre las 7 a.m. y las 3 p.m.

Para la evaluación lumínica, se realizó una simulación dinámica de luz mediante el software *Rhinoceros 5.0* con el *plug in DIVA for Rhino* (Solemnia LLC, 2017)(Solemnia LLC 2012). En este fue utilizada la métrica *Usefull Daylight Illuminance – UDI* (Mardaljevic et al., 2012; Nabil y Mardaljevic, 2005, 2005), para evaluar el desempeño lumínico (ver figura 65).

## Figura 65

### *Modelos de simulación.*



*Nota:* Elaboración propia.

Dentro de los objetivos del ejercicio, se planteó que la propuesta de acondicionamiento de dicha envolvente, fuera definida a partir de un sistema de parámetros, entendiendo el parámetro, como un dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación (Irala y Padial, 2018).

Lo que se busca es que, valiéndose de la información obtenida del análisis de dichos parámetros, la posterior aplicación del sistema propuesto de procesamiento de los datos, lleve en sí mismo a la resolución del problema, minimizando la subjetividad dentro del proceso, teniendo en cuenta que el conjunto de reglas compositivas minimizan la arbitrariedad Matcha y Quasten (2009). Para esto se diseña una estructura de análisis que, en primera instancia, genera un sistema de calificación de la envolvente de cada espacio particular, adoptando criterios térmicos y lumínicos con rangos establecidos para cada uno, asociados a los datos proporcionados por las simulaciones iniciales.

Para la caracterización térmica, se eligen 2 criterios, el porcentaje de horas que el aula está en temperatura de confort (TC) y los grados hora (°H) y de enfriamiento (ver figura 66). Para el cálculo de la temperatura de confort, se tomó el método opcional para determinar condiciones térmicas aceptables en espacios naturalmente acondicionados de *ASHRAE Estándar 55*. Este método es aplicable en casos donde las condiciones térmicas del espacio puedan regularse por los ocupantes mediante el control sobre la apertura de las ventanas. También deben tener la posibilidad de adaptar su vestimenta a las condiciones térmicas

interiores, y de realizar actividades físicas casi sedentarias; tomado el rango de temperatura de aceptación de 80% como el objetivo de confort (ASHRAE, 2017). Los grados hora (°H) de enfriamiento son un parámetro de definición de estrategias de diseño, requerimientos de climatización y, por lo tanto, de demanda de energía, que se obtiene de la sumatoria de la diferencia de los valores de temperatura que sobrepasan el límite superior de la zona de confort (Freixanet, 2010).

Para la caracterización lumínica, se optó por tomar los datos arrojados por la simulación de *UDI*, que muestra el porcentaje de tiempo que los espacios están dentro de un rango de iluminación determinado, establecido por un umbral entre 300 y 3000 lux (ver figura 67).

Con la elección de los criterios, se procede a la generación de los rangos de calificación de la envolvente. En la condición térmica se tomaron los resultados de la simulación inicial de ambos criterios, y con el fin de realizar una distribución de los datos y evaluar el desempeño por espacio, cada criterio térmico se subdivide en 3; alto, medio y bajo. Los 3 resultados de cada criterio se correlacionan para generar una calificación térmica a cada espacio, en una escala que va de 1 a 5, siendo 1 la calificación con el mejor desempeño térmico (con ambos criterios en un nivel aceptable), y 5 la más desfavorable (con ambos criterios en el rango más bajo) como muestra la figura 67.

**Figura 66**

*Criterios de calificación térmica y rangos de calificación del desempeño térmico.*

| Criterio 1 |           |
|------------|-----------|
| TC 80 %    | 80- 100 % |
| TC 80 %    | 65 -80 %  |
| TC 80 %    | 0- 65 %   |

| Criterio 2      |            |
|-----------------|------------|
| °h enfriamiento | 0 -1000    |
| °h enfriamiento | 1000-2000  |
| °h enfriamiento | 2000- 4000 |

Criterios de calificación térmica.

Rangos de calificación desempeño térmico

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| 1 | TCP 80 % - 100 % Y °H 0-1000   |
| 2 | TCP 65 % - 80 % Y °H 0-1000    |
| 3 | TCP 65 % - 80 % Y °H 1000-2000 |
| 4 | TCP 0 % - 65 % Y °H 1000-2000  |
| 5 | TCP 0 % - 65 % Y °H 2000-4000  |

Rangos de calificación del desempeño térmico.

*Nota:* Elaboración propia.

En la calificación lumínica (ver figura 66) se determinaron los rangos de distribución lumínica aceptables definiendo los porcentajes óptimos de los resultados de la simulación *UDI* de la siguiente manera: el porcentaje de *UDI* de 0–300 debía ser inferior al 15%, de 300–3000 mayor al 65%, y de +3000 inferior al 20%. Si bien un *UDI* de más del 50% es aceptable, este criterio de distribución busca ampliar el espectro e introducir un concepto que permita garantizar menor porcentaje en las zonas oscuras (0–300), así como las sobre iluminadas (+3000).

Como se observa en la figura 67, se asocian los resultados de *UDI* en las 3 zonas 0–300, 300–3000, +3000, en una escala de calificación de A a E, donde A corresponde a un espacio con iluminación deficiente, y E a uno excesivamente iluminado; pasando por calificaciones intermedias donde C sería la distribución lumínica definida como aceptable, que cumpliría con los 3 criterios, como se observa en la figura 66.

**Figura 67**

*Criterios de calificación lumínica y rangos de calificación del desempeño lumínico.*

**Criterio de distribución lumínica (UDI)**

|         |            |        |
|---------|------------|--------|
| 0 - 300 | 300 - 3000 | + 3000 |
| - 15 %  | + 65%      | - 20 % |

Criterios de calificación lumínica.

|   |                                   |                         |
|---|-----------------------------------|-------------------------|
| A | Cumple + 3000                     | Muy oscuro              |
| B | Cumple 300 - 3000 y + 3000        | Oscuro                  |
| C | Cumple 0 - 300; 300 - 3000; +3000 | Suficiente              |
| D | Cumple 0 - 300 y 300 - 3000       | Muy iluminado           |
| E | Cumple 0 - 300                    | Excesivamente iluminado |

Rangos de calificación del desempeño lumínico.

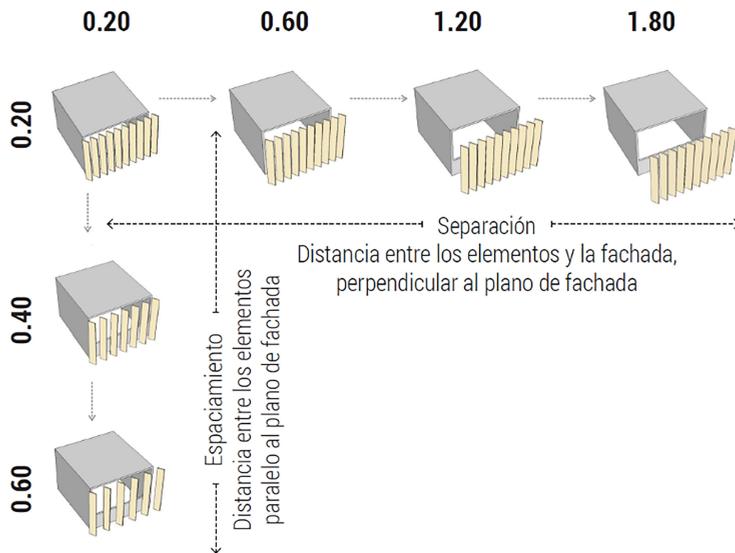
*Nota:* Elaboración propia.

## Parametrización y calificación de los componentes

Esta etapa busca caracterizar los elementos que compondrán la nueva envolvente para lo cual se parte de un criterio estético inicial, y a partir de este, se define la variación de los componentes. Para el caso, el criterio de diseño fue la composición por medio de elementos verticales donde a partir de la repetición de estos, se definen las variaciones en la disposición: a) Espaciamiento entre éstos y b) Separación de la fachada original del edificio (ver figura 68).

Figura 68

Esquema parámetros de variación de los componentes.



Nota: Elaboración propia.

Se proponen 3 medidas de espaciamiento entre los elementos (0.60, 0.40, 0.20), y 4 opciones de separación de la fachada original (0.20, 0.60, 1.20, 1.80), con un ángulo de giro de los elementos definido para cada fachada de acuerdo con la incidencia solar. Para la opción el espaciamiento de 0.40 se adicionan 2 ángulos de rotación ( $0.40 - 90^\circ$  y  $0.40 - 180^\circ$ ), lo que se resume en 20 opciones de tipologías por fachada para la posterior asignación a cada espacio.

Para lograr la caracterización de éstos, se realiza una evaluación de los componentes de forma individual, tanto en su desempeño térmico como lumínico. Para esto, se realizaron simulaciones, empleando el mismo programa computacional y el mismo procedimiento del diagnóstico, pero en un espacio hipotético de 4 m de ancho por 4 m de largo, por 3 m de altura, iguales para ambas fachadas, donde la verificación de la eficiencia de cada tipología se define contrastando los resultados de dichas simulaciones con los resultados de la misma simulación del caso base para cada fachada. El caso base corresponde a la simulación del módulo, sin ningún elemento de protección.

Esta comparación revela la forma en que cada tipología modifica las condiciones del espacio respecto a un punto de partida común, sea para mejorarla o deteriorarla; y permite evaluar comparativamente el desempeño de dichas tipologías.

Con la información proporcionada, se elaboran los mapas diagnósticos en elevación, que constituyen una síntesis que permite evidenciar aspectos básicos del conjunto de los resultados.

### **Proceso de definición de la envolvente**

El proceso de definición de la envolvente implica la asociación de los resultados del diagnóstico condensados en el mapa diagnóstico de la fachada, y los resultados de la caracterización de los componentes.

Como cada aula consta de una calificación térmica y lumínica, lo primero es establecer de acuerdo con la combinación de estos resultados, el componente prioritario de la intervención, donde, aun cuando se elige uno de los dos componentes como determinante, se procura encontrar siempre un balance con el componente secundario. En la mayoría de los casos el componente primario es el térmico, y el lumínico entra como una consideración posterior que estrecha el círculo de las posibles opciones.

Luego se elabora la tabla de resultados listados, donde los datos de la simulación térmica de los componentes se disponen de forma vertical en la columna, ordenados desde el valor de mayor incremento de % de horas en temperatura de confort, hasta el más bajo. Los resultados correspondientes de desempeño lumínico se sitúan en línea horizontal.

Para el proceso de elección de la tipología, como se observa en la figura 69, luego de definir la prioridad de la intervención, se identifican los valores faltantes de los espacios para el cumplimiento, los cuales se obtienen calculando la diferencia entre los resultados simulados de cada aula en el aspecto térmico y lumínico, con los valores determinados como objetivos para cada componente. De esta forma se pasa de la identificación de una necesidad, a un valor numérico por alcanzar.

Figura 69

Gráfico de pasos de la metodología de selección de tipologías de la nueva envolvente.

Identificación de la prioridad



Cálculo de diferencias respecto al resultado óptimo

| AULA  | N.T. Confort | % Enfriamiento 200 - 2000 | 900 + 3000 | 1000 - 900 |
|-------|--------------|---------------------------|------------|------------|
| Lab 0 | 34.00        | + 2779.40                 |            |            |
| Lab 9 | -31.84       | + 2447.37                 |            |            |
| 9C    | 27.00        | + 1926.35                 |            |            |
| 6B    | -18.16       | + 1256.93                 | + 1.52     |            |
| 6C    | 167.29       | + 1265.85                 | + 1.61     |            |
| 6D    | 17.56        | + 1084.41                 | + 1.55     |            |
| 5A    | 117.22       | + 1137.27                 | + 1.71     |            |
| 10B   | -3.04        | + 784.44                  | + 0.72     |            |
| 10C   | 2.18         | + 100.52                  | + 0.81     |            |
| 10D   | 3.69         | + 7.82                    | + 0.72     |            |
| 10A   |              |                           | + 0.40     |            |
| 11A   |              |                           | + 0.50     |            |
| 11B   |              |                           | + 0.83     |            |
| 11C   |              |                           | + 0.82     |            |
| 11D   |              |                           | + 0.86     |            |

Tabla de resultados de componentes listados

|                        | Aumento % N.T. confort | Disolución % enfriamiento | Incremento 200 - 2000 | Eliminación 9000 | Incremento 9 - 900 |
|------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| Exp 20 - Sep 20        | 25                     | 2076                      | 13.2                  | 25.9             | 12.7               |
| 90° Esp 40 - Sep 20    | 23                     | 2914                      | 18.5                  | 23.5             | 5.0                |
| Exp 20 - Sep 60        | 41                     | 2064                      | 14.0                  | 24.1             | 10.1               |
| Exp 40 - Sep 20        | 19                     | 2506                      | 13.2                  | 18.7             | 5.5                |
| 90° Esp 40 - Sep 60    | 19                     | 2473                      | 17.5                  | 21.8             | 5.1                |
| 180° Esp 40 - Sep 20   | 19                     | 2478                      | 15.2                  | 22.1             | 6.8                |
| 180° Esp 40 - Sep 60   | 17                     | 2271                      | 14.4                  | 20.3             | 5.9                |
| Exp 40 - Sep 60        | 16                     | 2198                      | 12.3                  | 16.8             | 4.5                |
| Exp 20 - Sep 1.20      | 16                     | 1953                      | 12.4                  | 20.4             | 8.0                |
| Exp 60 - Sep 20        | 15                     | 2089                      | 11.4                  | 14.2             | 2.8                |
| 180° Esp 40 - Sep 1.20 | 14                     | 1647                      | 12.9                  | 17.6             | 4.7                |
| 90° Esp 40 - Sep 1.20  | 14                     | 1681                      | 14.8                  | 18.5             | 3.7                |
| Exp 60 - Sep 60        | 13                     | 1921                      | 10.1                  | 12.8             | 2.4                |
| Exp 40 - Sep 1.20      | 12                     | 1586                      | 10.9                  | 14.6             | 3.7                |
| Exp 20 - Sep 1.80      | 12                     | 1447                      | 9.9                   | 16.7             | 6.8                |
| 180° Esp 40 - Sep 1.80 | 11                     | 1233                      | 11.0                  | 14.9             | 3.9                |
| Exp 60 - Sep 1.20      | 10                     | 1302                      | 8.8                   | 10.9             | 2.1                |
| 90° Esp 40 - Sep 1.80  | 10                     | 1211                      | 11.7                  | 14.7             | 3.0                |
| Exp 40 - Sep 1.80      | 8                      | 1070                      | 9.0                   | 12.1             | 3.1                |
| Exp 60 - Sep 1.80      | 8                      | 674                       | 7.4                   | 9.3              | 1.9                |

Nota: Elaboración propia.

Con esta información se obtiene el valor faltante para el cumplimiento del criterio de porcentaje de horas en temperatura de confort para cada aula. Este valor se localiza en la tabla donde aparecen los resultados listados, ubicando de esta forma las opciones que pueden atender a esta necesidad puntual.

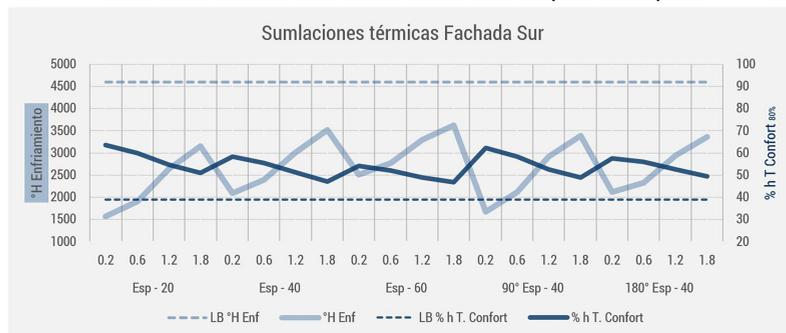
De acuerdo con la prioridad de la tipología, se procede con la elección de cada opción; la cual puede enfocarse en favorecer el aspecto térmico o el lumínico según la necesidad. Si la intervención es prioritariamente térmica, se busca entre las tipologías preseleccionadas la menor variación del componente lumínico, buscando un bajo incremento de *UDI* 0–300. Si la intervención es prioritariamente térmica, pero también hay una necesidad lumínica, se ubican las opciones con los valores que cubran la diferencia térmica pero eligiendo entre éstas la que más se acerque a la necesidad lumínica. Si la intervención es prioritariamente lumínica por exceso de iluminación, se busca la opción que cubra esta deficiencia. Y, por último, si la intervención es prioritariamente lumínica por deficiencia, la opción será la no intervención. De este proceso resulta la propuesta de nueva envolvente.

## Resultados

La figura 70 muestra el desempeño de cada opción de tipología en fachada sur, representado por la diferencia entre el resultado del porcentaje de horas en temperatura de confort (TC), y los grados hora (°H) de enfriamiento de cada componente, versus su respectiva línea base. Esto expresa cuáles son las opciones que ofrecen mayor disminución de grados hora (°H) de enfriamiento, y mayor incremento del porcentaje de h en temperatura de confort.

**Figura 70**

*Gráfico de resultados térmicos de la simulación de los componentes para la fachada sur.*

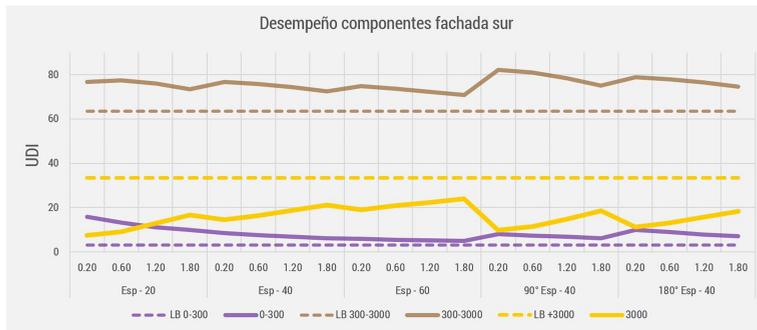


*Nota:* Elaboración propia.

En la condición lumínica, como se observa en la figura 71, el desempeño está determinado por la capacidad de cada tipología para lograr acercar los valores de *UDI* a los de la distribución establecida como óptima, donde el mejor escenario es la disminución del *UDI* de + 3000 sin que implique un incremento sustancial del *UDI* de 0-300.

**Figura 71**

*Gráfico de resultados lumínicos de la simulación de los componentes para la fachada sur.*



*Nota:* Elaboración propia.

## Diagnóstico de la fachada. Caso de estudio

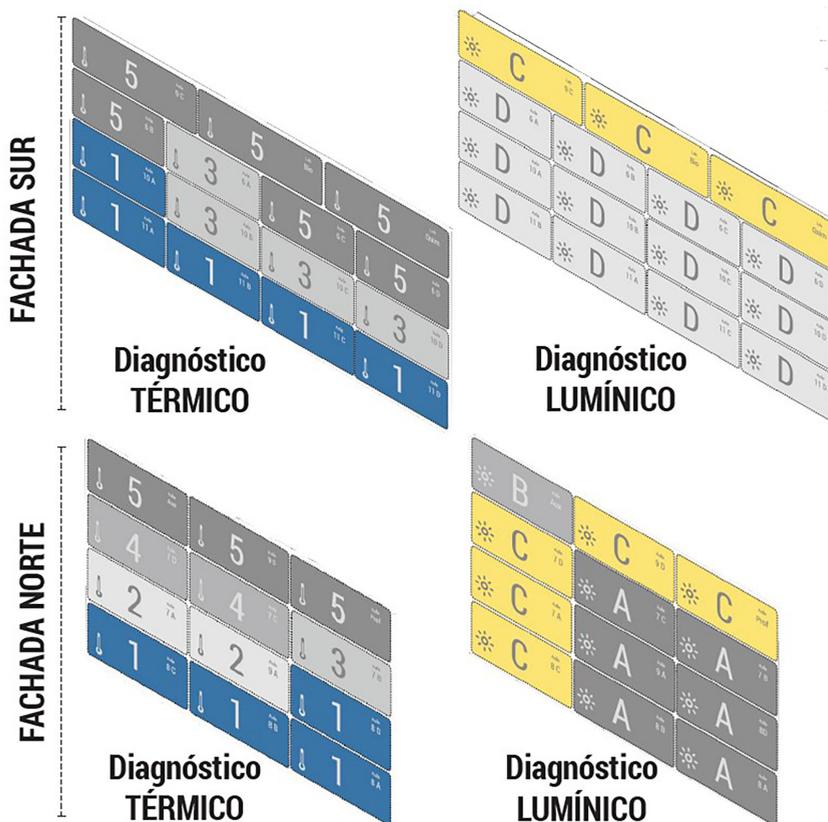
Previo a la definición de la nueva envolvente, se realiza la calificación de la fachada. Ésta se lleva a cabo mediante los datos obtenidos de las simulaciones y aplicando los criterios y rangos definidos, donde cada espacio tiene una calificación numérica (de 1 a 5) de tipo térmico, y alfabética (de A a E) de tipo lumínico, información que se sintetiza en los mapas de diagnóstico para cada fachada (ver figura 72).

En el aspecto lumínico se observa una tendencia a espacios sobre iluminados en la fachada sur, con una calificación lumínica de D y una tendencia a espacios con deficiencia lumínica en la fachada norte con calificaciones A.

Cabe resaltar la importancia que cobra dentro del método el hecho que la definición de la nueva envolvente se da a partir de los datos obtenidos, para lo cual, se definió un sistema de reglas para la asignación de cada tipología a cada porción de la fachada.

Figura 72

Esquema en elevación del desempeño térmico y lumínico de la fachada sur y norte.



Nota: Elaboración propia.

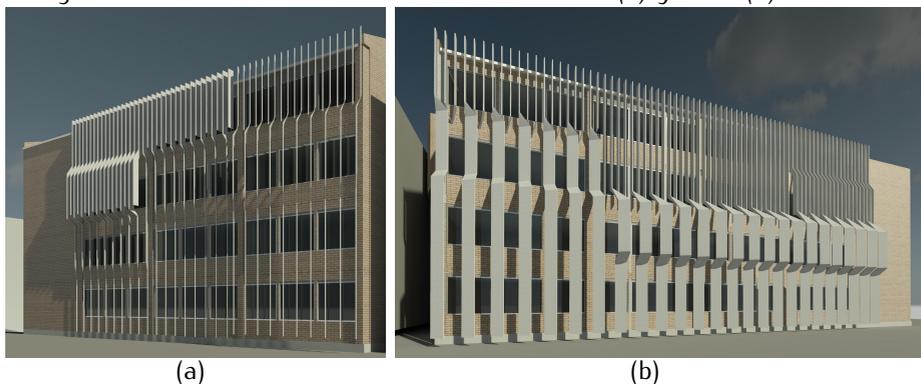
En los gráficos obtenidos, es claro como los espacios de los pisos inferiores con una clasificación térmica de 1, se encuentran en mejores condiciones, que los pisos superiores con una clasificación térmica de 5.

Con la elección de las diferentes tipologías mediante la aplicación de la metodología, se llega a la conformación de la nueva envolvente (ver figura 73),

la cual es elaborada también, tanto en el modelo térmico en *Design Builder*, como en el lumínico en *Diva For Rhino*, para la simulación final del conjunto.

**Figura 73**

*Imagen tridimensional nueva envolvente fachada sur (a) y norte (b).*

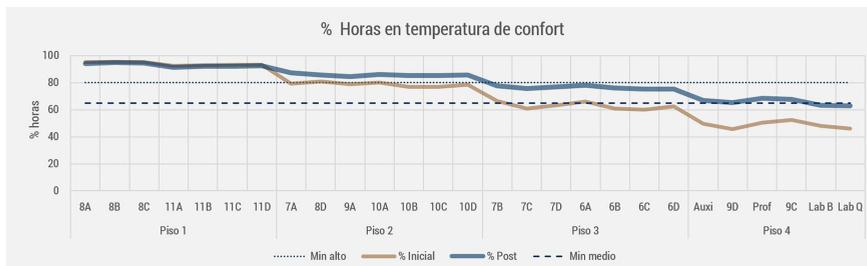


*Nota:* Elaboración propia.

La simulación térmica se realizó bajo el mismo procedimiento que en el diagnóstico, obteniendo datos anuales por hora, con el fin de filtrar los resultados de la jornada académica, y obtener la condición final de las aulas como se observa en la figura 74.

**Figura 74**

*Gráfico de resultados de simulación térmica de la nueva envolvente.*



*Nota:* Elaboración propia.

Para la simulación lumínica de verificación de resultados, también se realizó el mismo procedimiento, obteniendo la condición lumínica final de las aulas (ver figura 75), con el objetivo de contrastar resultados en ambos casos, tanto térmicos como lumínicos.

**Figura 75**

*Gráfico de resultados de simulación Lumínica UDI 0–300 de la nueva envolvente.*



*Nota:* Elaboración propia.

## Discusión

En la verificación de los cambios post implementación de la envolvente se evidencia un desempeño térmico aceptable como se observa en la figura 74, y un desempeño lumínico desfavorable, que generó disminución de la suficiencia lumínica más allá de lo esperado para los espacios.

Si bien era claro que la intervención implicaría cambios en la condición lumínica, se buscó que ésta tuviera poco impacto en el deterioro de esta. Esto se logró en mayor medida en la fachada sur más que en la norte, donde en algunas aulas, se presentaron cambios por encima de los límites deseados, a causa también de su mala condición inicial (ver figura 75).

Tomando los datos de los resultados esperados por las tipologías versus su desempeño en la envolvente implementada; el método propuesto presenta mayor efectividad en la evaluación del aspecto térmico que en el lumínico.

Sobre las simulaciones lumínicas, el método no muestra mucha efectividad para predecir el nivel al que se oscurecería el espacio con implementación de cada tipología.

## Conclusiones

Cualquier tipo de intervención en la envolvente que implique una protección en la fachada, en un clima similar al de la ciudad de Medellín, tendrá un impacto positivo en lo térmico, pero no necesariamente en lo lumínico. Los espacios que se encuentren en sobre exposición lumínica se verán beneficiados, no así los que estén en deficiencia lumínica. Lograr un equilibrio en estas 2 condiciones, implica un gran esfuerzo que, en la mayoría de los casos, llevará a que una condición tenga un comportamiento más desfavorable que la otra.

Para el caso de estudio, se optó por favorecer la intervención desde el mejoramiento de la condición térmica junto con la incomodidad por exceso de luz. Se identificó que este aspecto, no solo interfería en gran medida con la actividad por deterioro de las condiciones lumínicas que originaba la necesidad de protecciones, sino que además, generaba un incremento en la perturbación auditiva con el funcionamiento permanente de los ventiladores.

El criterio utilizado para el ejercicio se basó en que acondicionar lumínicamente un sector del aula que haya desmejorado esta condición, ya que es más viable que acondicionar térmicamente todo el espacio. Desde otra perspectiva, disminuir el ingreso de radiación directa, no solo contribuye a minimizar la molestia visual obvia y evitar el sobrecalentamiento del espacio, sino que también, implica un mejor aprovechamiento del área total del aula debido a que se eliminan las zonas donde se hace imposible la realización de la actividad.

La implementación de un método de análisis de fachadas tiene aspectos muy positivos, como comprender la condición de los espacios al convertir los resultados en imágenes que ayudan a sintetizar los problemas y evidencian el estado y las necesidades particulares de forma ágil y efectiva. Pero también, tiene algunas limitaciones, debido a que al agrupar los resultados aparecen tipologías extremas en una misma categoría, que podrían tener diferentes lecturas y formas de abordar.

Bajo esta premisa, se hace importante buscar estrategias para matizar dichos resultados y atender de manera más adecuada cada caso, sin caer en la individualización de estos. La asociación de criterios empleados en el método para dar la calificación a los espacios tenía este objetivo, sin embargo, en la elección

de las tipologías de envolventes se evidencian casos que, a pesar de pertenecer a una misma categoría, requerían un tratamiento diferente.

Equilibrar la pertinencia de una intervención para solucionar un problema térmico con los cambios que a nivel lumínico implica en los espacios, requiere un análisis y una descomposición del problema para lo cual el uso de un método, con objetivos y directrices claros, incorpora argumentos al diseño de envolventes y facilita la toma de decisiones proyectuales.

## Referencias

- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers y American National Standards Institute (Ed.) (2017). *Standard 55-2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Anton, I., y TÄnase, D. (2016). Informed Geometries. Parametric modelling and energy analysis in early stages of design. *Energy Procedia*, 85, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.269>.
- Arango-Díaz, L., Giraldo Vásquez, N., Cano Valencia, L., y Arenilla Cuervo, A. (2013). Revisión de las recomendaciones sobre comodidad visual en ambientes escolares descritas en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595. *Dearq*, 13, 214-229. <https://doi.org/10.18389/dearq13.2013.19>.
- Barkmann, C., Wessolowski, N., y Schulte-Markwort, M. (2010). Applicability and efficacy of variable light in schools. *Journal of Fourier Analysis and Applications*, 16(5), 748-767. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.09.020>.
- Cachán, C., Carbelo, B., García, M., y Mateo, P. (2012). Estudio sobre la influencia de la iluminación en el rendimiento escolar. *Luces CEI*, 45, 14-17. <https://www.ceisp.com/zona-privada/revista-luces/acceder-a-los-articulos/revista-luces-45/>.
- California Energy Commission. (2003). *Summary Of Daylighting In Schools: Reanalysis Report* [Archivo PDF]. California Energy Commission. [https://www.researchgate.net/publication/332059024\\_CALIFORNIA\\_ENERGY\\_COMMISSION\\_Daylighting\\_In\\_Schools\\_Reanalysis\\_Report](https://www.researchgate.net/publication/332059024_CALIFORNIA_ENERGY_COMMISSION_Daylighting_In_Schools_Reanalysis_Report).
- de Angelis, E., Tagliabue, L. C., Cecconi, F. R., y Mainini, A. G. (2017). A simple method for the comparison of bioclimatic design strategies based on dynamic indoor thermal comfort assessment for school buildings. *Procedia Engineering*, 180, 870-880. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.248>.
- Design Builder Software Limited. (2002). *DesignBuilder*. <https://designbuilder.co.uk>.
- Figueiro, M. G., Rea, M. S., Rea, A. C., y Stevens, R. G. (2002). Daylight and productivity: A field study [Conference paper]. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.

- Flach, F., González, M. A. S., y Kern, A. P. (2008). Un estudio sobre el mejoramiento del inventario de edificios sociales con énfasis en la rehabilitación de fachadas. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(3), 155-162. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732008000300003>.
- Freixanet, V. (2010). *Los Grados-Día como herramienta de diseño bioclimático para el ahorro de energía en las edificaciones*. Memoria de La xxxiv Semana Nacional de Energía Solar, ABC-39, Florida, Estados Unidos.
- Guillén Mena, V., Quesada Molina, F., López Catalán, M., Orellana Valdés, D., y Serrano, A. (2015). Energetic efficiency in residential buildings. *Estoa*, 4(7), 59-67. <https://doi.org/10.18537/est.v004.n007.07>.
- Heschong, L. (2007). *Day lighting and student performance*. Velux daylight symposium, Bilbao, España. [http://thedaylightsite.oxmond.com/wp-content/uploads/symposium/DS2007/Daylighting\\_and\\_Student\\_Performance.pdf](http://thedaylightsite.oxmond.com/wp-content/uploads/symposium/DS2007/Daylighting_and_Student_Performance.pdf).
- Heschong Mahone Group. (1999). Daylighting in Schools An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance. *California Board for Energy Efficiency Third Party Program*, 1999(1), 140. [https://www.researchgate.net/publication/328416721\\_Daylighting\\_in\\_Schools\\_An\\_Investigation\\_into\\_the\\_Relationship\\_Between\\_Daylighting\\_and\\_Human\\_Performance\\_Condensed\\_Report](https://www.researchgate.net/publication/328416721_Daylighting_in_Schools_An_Investigation_into_the_Relationship_Between_Daylighting_and_Human_Performance_Condensed_Report).
- Holmberg, I., y Wyon, D. (1969). *The dependence of performance in school on classroom temperature*. Department of Educational; Psychological Research, School of Education.
- Hoque, S., y Weil, B. (2014, 10 de abril). Cold comfort : thermal satisfaction in academia. In *8th Windsor Conference: counting the Cost of Comfort in a changing world*. Cumberland Lodge, Windsor, UK.
- Hosseini, S. M., Mohammadi, M., Rosemann, A., Schröder, T., y Lichtenberg, J. (2019). A morphological approach for kinetic façade design process to improve visual and thermal comfort: Review. *Building and Environment*, 153, 186-204. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.040>.
- Irala, V., y Padial, J. F. (2018). *Modelización Bioclimática: estudio de parámetros medioambientales* [Trabajo de grado para pregrado, Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/51453/>.
- Jiang, J., Wang, D., Liu, Y., Xu, Y., y Liu, J. (2018). A study on pupils' learning performance and thermal comfort of primary schools in China. *Building*

- and Environment*, 134, 102-113.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.036>.
- Konstantinou, T. (2014). *Facade Refurbishment Toolbox*. Bk Books.
- Küller, R., y Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology*, 12, 305-317. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80079-9](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80079-9).
- Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., y Christoffersen, J. (2012). Daylighting Metrics: Is There a Relation Between Useful Daylight Illuminance and Daylight Glare Probability? *Ibpsa-England Bso*, 12, 189-196.  
[https://www.researchgate.net/publication/267556994\\_Daylighting\\_metrics\\_is\\_there\\_a\\_relation\\_between\\_useful\\_daylight\\_illuminance\\_and\\_daylight\\_glare\\_probability](https://www.researchgate.net/publication/267556994_Daylighting_metrics_is_there_a_relation_between_useful_daylight_illuminance_and_daylight_glare_probability).
- Matcha, H., y Quasten, G. (2009). A Parametric-Typological Tool: More Diversity for Mass Produced Single Family Homes Through Parametrized Design and Customized Mass Production. *Design Tool Development*, 27, 409-416.  
[http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2009\\_158](http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2009_158).
- Ministerio de Educación Nacional de la República de Colombia (Ed.) (2006). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595 Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*.  
[https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894\\_Archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf).
- Munksgaard, B. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? *A critical review of the literature*, 15(1), 27-52. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>.
- 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 F. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 20(18), 22. <https://doi.org/10.14507/epaa.v20n18.2012>.
- Nabil, A., y Mardaljevic, J. (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>.
- Nydahl, H., Andersson, S., Åstrand, A. P., y Olofsson, T. (2019). Including future climate induced cost when assessing building refurbishment performance. *Energy and Buildings*, 203, 109428.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109428>.

- Piderit, B., y Bodart, M. (2012). Design Strategies Applied to Classroom's Daylight Design Optimization of classrooms design. *PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an Environmentally Responsible Architecture, November*, 5–10. <http://hdl.handle.net/2078.1/145792>.
- Plympton, P., Conway, S., y Epstein, K. (2000). Daylighting in Schools: Improving Student Performance and Health at a Price Schools Can Afford. *American Solar Energy Society Conference*, 116, 190–205. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009>.
- Ricciardi, P., y Buratti, C. (2018). Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment*, 127, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.030>.
- Schoer, L., y Shaffran, J. (1973). A combined evaluation of three separate research projects on the effects of thermal environment on learning and performance. *ASHRAE Transactions*, 79(1), 97–108.
- Solemma LLC. (2017). *Diva For Rhino*.Diva for Rhino. <https://www.solemma.com/blog>.
- Soutullo, S., Giancola, E., y Heras, M. R. (2018). Dynamic energy assessment to analyze different refurbishment strategies of existing dwellings placed in Madrid. *Energy*, 152, 1011–1023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.017>.
- Trebilcock, M., Soto Muñoz, J., Figueroa San Martin, R., y Piderit-Moreno, B. (2016). Metodología para el diseño de edificios educacionales confortables y resilientes. *Aus*, 70–76. <https://doi.org/10.4206/aus.2016.n20-11>.
- Wargocki, P., y Wyon, D. P. (2007). The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257). *HVAC and R Research*, 13(2), 193–220. <https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10390951>.
- Wargocki, P., Wyon, D. P., Matysiak, B., y Irgens, S. (2005). The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children. *Proceedings of Indoor Air*, 1(1), 368–372. [https://www.researchgate.net/publication/242306573\\_The\\_effects\\_of\\_classroom\\_air\\_temperature\\_and\\_outdoor\\_air\\_supply\\_rate\\_on\\_performance\\_of\\_school\\_work\\_by\\_children](https://www.researchgate.net/publication/242306573_The_effects_of_classroom_air_temperature_and_outdoor_air_supply_rate_on_performance_of_school_work_by_children).

Zumelzu, A. (2011). Sustainability As a Global Problem in the Carbon Era: Eindhoven As an Example of Anthropocene City. *Aus*, 10, 4-7.  
<https://doi.org/10.4206/aus.2011.n10-02>.

# Alternativas de mejoramiento térmico basadas en la envolvente para aulas de colegios en el trópico

Envelope-Based Thermal Upgrade Alternatives  
for School Classrooms in the Tropics

*Olga Lucia Montoya*<sup>46</sup>

*Juliana Piedrahita Holguín*<sup>47</sup>

---

<sup>46</sup> Arquitecta, Magister en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano, Docente Asociada de la Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño de la Universidad de San Buenaventura, Colombia . Correo electrónico: olmontoy@usbcali.edu.co.

Estudiante de último año de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño de la Universidad San Buenaventura seccional Cali, Colombia. Correo electrónico: jp\_holguin@hotmail.com.

## Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el desempeño térmico de diferentes alternativas en la envolvente de un aula típica de la ciudad de Cali y su incidencia en el confort térmico. Las alternativas de diseño se basan en las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595 y de las recomendaciones generales para clima cálido realizadas por varios autores. La metodología se sustenta en la Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario-AAPU, para el análisis a profundidad del caso base, se utilizan encuestas de percepción térmica (componente subjetivo) y mediciones en sitio, de parámetros ambientales (componente objetivo). Por último, se desarrollan modelos virtuales para la simulación térmica en el software *Sefaira*, con el fin de validar la pertinencia de las recomendaciones aplicadas. Los resultados arrojados, evidencian una dificultad en aplicar los modelos para el análisis del confort térmico propuesto por las normas *ASHRAE* y *NTC 5316*, como también, la necesidad de explorar otras alternativas de carácter híbrido o mixto, que permitan conservar el espacio en confort en las aulas naturalmente ventiladas.

**Palabras Clave:** Confort térmico, envolvente, ventilación natural, *NTC 4595*, aulas.

## Introducción

El confort térmico en los espacios es un tema ampliamente estudiado y debatido internacionalmente, especialmente alrededor de las condiciones ambientales que permiten el confort en los espacios, bien sea en espacios con climatización artificial o en relación directa con las condiciones exteriores. También se debate acerca de los procesos, instrumentos técnicos más apropiados para levantar datos en sitio y, por último, pero no menos actual, sobre la aplicabilidad de los dos modelos existentes para su análisis.

La norma internacional *American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) & American National Standards Institute (ANSI), 2017* y la *Norma Técnica Colombiana 5316* del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC), 2004, usa una Escala de Sensación Térmica (EST) de 7 puntos, en inglés: -3 cold, -2 cool, -1 slightly cool, 0 neutral, +1 slightly warm, +2 warm, +3 hot, y establecen dos modelos para el análisis de confort térmico en los espacios. El modelo denominado analítico basado en indicadores como el voto medio estimado, en inglés *Predicted Mean Vote (PMV)* y en el porcentaje de insatisfacción estimado, en inglés: *Predicted percentage of dissatisfied (PPD)*, desarrollado por Fanger en 1972, permite predecir el valor medio de la sensación térmica de los ocupantes y el porcentaje que lo encuentra satisfactoriamente confortable. Para la norma (ASHRAE y ANSI, 2017) el rango de confort está entre  $-0.5 < PMV < 0.5$ , con  $PPD < 10\%$ . Por otro lado, el segundo modelo, el adaptativo, basado en la temperatura promedio exterior, es aplicable para espacios en condiciones ventiladas naturalmente. La norma indica límites en que el modelo adaptativo puede ser aplicado, entre las que se encuentran la ausencia de medios mecánicos para la refrigeración.

Para el diseño de aulas cómodas en Colombia, existe la *Norma Técnica Colombiana 4595*, documento que reúne recomendaciones de diseño. A pesar de que la norma es bastante general en el objetivo de confort y no se inscribe en ninguno de los dos modelos, es el documento base para el diseño de colegios. Para la ciudad de Cali, las recomendaciones de la norma son: la orientación de fachada expuesta hacia el eje norte-sur, proporción de aberturas de 1/6 en relación al área de la planta para promover la ventilación cruzada, protección de los elementos de fachada cuando la fachada presenta orientaciones diferentes a la recomendada, materiales de la envolvente con masa térmica y colores claros, entre otros, para alcanzar la comodidad térmica (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2000).

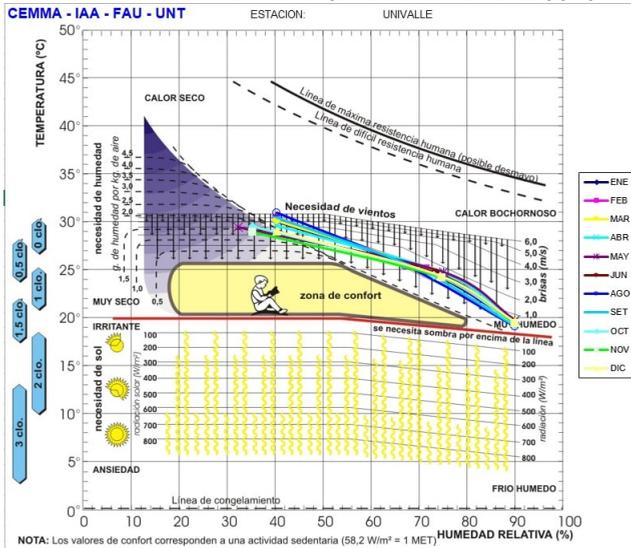
Para el análisis del confort en aulas hay variedad de abordajes que dan cuenta de la complejidad del tema: i) Los que analizan conceptualmente la norma ASHRAE en el trópico (Herrera et al., 2019), ii) Las diferencias en la percepción térmica de las personas en aulas naturalmente ventiladas en comparación, con las climatizadas artificialmente (Kwok y Chun, 2003; Tablada et al., 2005), iii) Los rangos de confort propuestos por la norma frente a los resultantes de la

opinión de las personas en entornos cálidos (Hwang et al., 2009; Kwok et al., 1998), iv) Sobre la aplicación del PMV en edificios ventilados (Fanger y Toftum, 2002; Sakiyama et al., 2020; Zhang y Lin, 2020) y, v) aquellos que analizan el desempeño de las variaciones en la envolvente en relación con el desempeño térmico (Subhashini y Thirumaran, 2018; Teli et al., 2014).

Entre los primeros autores en publicar recomendaciones de diseño para climas tropicales fue Víctor Olgyay (1963). El método de diseño bioclimático del autor se basa en aspectos biológicos, soluciones tecnológicas y las arquitectónicas. El rango de confort para Cali lo determinó entre 21° y 26° de temperatura (°C) y con una humedad relativa (HR) entre 20° y 55% HR, parámetros cercanos a los recomendados por la norma ASHRAE para situaciones cálidas, rango que se ha demostrado no refleja la situación de confort en este clima (Montoya y Herrera, 2019; Zapata et al., 2018). Para humedad relativa más alta, recomendó incrementar la velocidad del viento (Olgyay, 1963) (figura 76).

Figura 76

Condiciones de confort basadas en el diagrama de Víctor Olgyay.



Nota: (Gonzalo, 2003).

Las recomendaciones de [Olgyay \(1963\)](#) 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. También que las aberturas deben orientarse hacia el norte y sur para protección del sol y aprovechamiento de los vientos.

Autores como Mahoney adoptaron sus recomendaciones luego de trabajar en Nigeria, ciudad tropical de África. De este trabajo y tras la alianza con autores como Koenisberguer y Evans, resultan las tablas de Mahoney, herramienta para el diseño bioclimático de amplia difusión ([Koenigsberger et al., 1977](#)). Esta herramienta se basa en identificar los momentos de bienestar durante el día, y recomendaciones pasivas basadas en el manejo de la humedad, ventilación, protección frente a la lluvia y almacenamiento térmico. Las recomendaciones se basan en la ubicación de las aberturas para la incidencia de la brisa sobre los ocupantes, preferiblemente al eje norte-sur, y evitar la radiación solar durante todo el año a través del sombreado, con envolvente preferiblemente liviana y huecos en fachada mayores al 40%.

Otro de los autores que desarrollaron un método de diseño bioclimático, fue el arquitecto [Israelí Baruch Givoni \(1969\)](#), quien propone alternativas de diseño a partir de 3 criterios fundamentales: atender la radiación, la temperatura interior y la velocidad de aire y vapor interior. Para el autor la recomendación principal en el trópico es el incremento en la velocidad del aire para estimular la pérdida de calor, la ventilación cruzada, mecánica y selectiva. De manera posterior autores provenientes de entornos con estaciones climáticas marcadas, como Rafael Serra y Allan Konya, desarrollaron una serie de alternativas para climas cálidos. Específicamente para el clima cálido seco y húmedo Allan Konya recomienda promover el flujo del aire, provisión de sombra en la envolvente sin perder la luminosidad al interior ([Konya, 1980](#)).

Por su parte [Rafael Serra \(1999\)](#) centra sus recomendaciones en el manejo de la radiación, desde su potencial térmico y lumínico, los efectos térmicos al interior, la transferencia de calor y la ventilación, el autor propone un rango de confort entre 15°C y 30°C con humedades entre 40% y 80% HR. En cuanto a las aberturas en relación con la ventilación y la radiación, el autor recomienda una posición diferente entre las aberturas en fachadas y la orientación de las aberturas al norte y sur, sombreado y sistema de oscurecimiento en las aberturas.

De manera posterior aparecen en el panorama de publicaciones académicas, los trabajos de autores Mexicanos como Víctor Fuentes (1999), los argentinos Guillermo Gonzalo (2003) y Gustavo San Juan (2013) y Evans y Schiller (1994), entre otros, quien han desarrollado una metodología para el diseño bioclimático en climas cálidos. Gustavo San Juan plantea una serie de recomendaciones a partir del análisis bioclimático general y el pre cálculo en el dimensionamiento inicial. Por otra parte, Guillermo Gonzalo ha desarrollado una serie de herramientas de análisis bioclimático, basadas en Givoni, Olgay y Mahoney, además de otras que permiten calcular promedios climáticos, ganancias térmicas y el pre-dimensionamiento de aberturas.

Autores como De Dear y Brager (1998), y más recientes como Gómez-Azpeitia et al., (2013), enfocan su reflexión en el diseño arquitectónico y el mejoramiento de las condiciones de confort y el logro de ahorros energéticos a través de la toma correcta de decisiones. Es así, que estrategias 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 y Zannin, 2004).

## Metodología

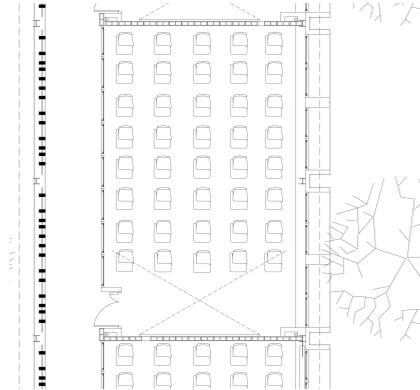
La metodología empleada, fue de estudio de caso sobre el aula de un colegio realizado después de la aparición de la norma *NTC 4595* para asegurar la aplicación de los principios de la norma. La investigación que enmarca esta contribución es una investigación de doctorado, que busca identificar la relación entre las recomendaciones de la norma y las condiciones de confort generadas en las aulas. El desarrollo que se presenta a continuación presenta una extensión del estudio en mención, profundizando en las estrategias de diseño de la envolvente y su incidencia en el confort térmico en uno de los casos estudiados.

El caso seleccionado es un aula de  $66.4 \text{ m}^2$  ( $10.27 \text{ m} \times 6.46 \text{ m}$ ) y altura de  $3.70 \text{ m}$ , ubicada en el último piso del edificio, con la cubierta expuesta a la radiación (figuras 77 y 78). Presenta los elementos que según la norma deberían promover un espacio educativo confortable: orientación hacia el eje norte-sur (nor-este), bloque

de concreto de 0.20 m en la envolvente (figura 79), vanos amplios que representan 32 m<sup>2</sup> alrededor de la mitad del área de la planta, los promueven la ventilación permanente (sin vidrio) y elementos de protección solar en fachada (figura 80).

**Figura 77**

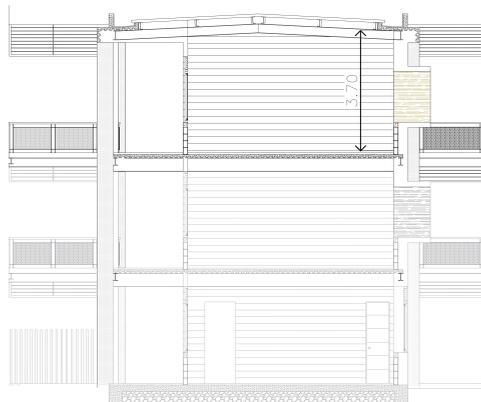
*Planta del aula.*



*Nota:* Secretaría de Educación Municipal de Santiago de Cali.

**Figura 78**

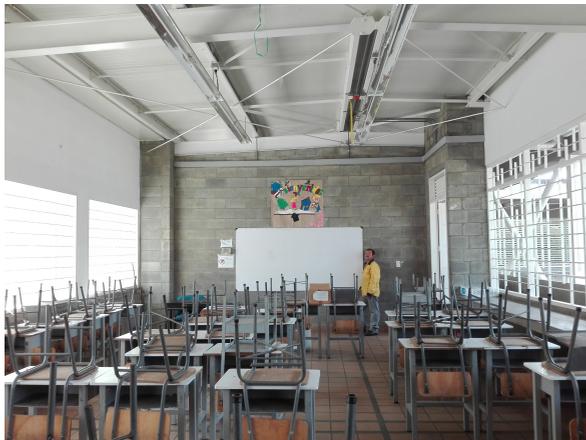
*Corte del aula.*



*Nota:* Secretaría de Educación Municipal de Santiago de Cali.

**Figura 79**

*Vista interior del aula.*



*Nota:* Elaboración propia (archivo de la investigación).

**Figura 80**

*Fachada hacia el patio.*



*Nota:* Elaboración propia (archivo de la investigación).

El estudio de caso se investigó exhaustivamente a través de la Auditoria Ambiental de Percepción del Usuario–AAPU, para determinar el confort térmico, visual y auditivo, utilizada con anterioridad en el análisis de aulas (San Juan et al., 2014). La auditoría está conformada por dos componentes: objetivo y subjetivo.

El componente subjetivo se basa en las encuestas realizadas a 36 niños entre 14 y 16 años, durante un día del mes de marzo del año 2017 (ver figura 81). Las encuestas en el tema térmico indagaron por lo siguiente: la vestimenta, la percepción de confort en la escala de sensación térmica, la percepción de la ventilación y las estrategias para adaptarse a los cambios de temperatura en el aula como cerrar ventanas, adaptar la ropa, tomar agua, moverse, etc.

**Figura 81**

*Momento de la encuesta.*



*Nota:* Elaboración propia (archivo de la investigación).

El componente objetivo se basó en mediciones continuas durante el mes en que se realizaron las encuestas a los estudiantes. También se hicieron mediciones manuales complementarias en el aula al momento de la encuesta. El equipo para el registro exterior se ubicó en el corredor protegido de la luz directa (ver figura 82) y al interior del salón, el *datalogger* se ubicó en la pared del tablero, cerca del puesto del profesor por cuestiones de seguridad y control. El detalle de los equipos utilizados se presenta en la tabla 25.

**Figura 82***Fachada hacia el corredor.**Nota:* Elaboración propia (archivo de la investigación).**Tabla 25***Equipos para el componente objetivo de la AAPU.*

| Equipo          | Parámetros ambientales                            | Tipo de medición          | Especificaciones Técnicas  |
|-----------------|---|---------------------------|--|
| HOBO U23 Pro V2 | Temperatura (°C) y Humedad relativa (%) exterior. | Continua cada 10 minutos. | Precisión $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ entre $0^{\circ}$ a $50^{\circ}\text{C}$ , $\pm 2.5\%$ entre $10\%$ a $90\%$ RH (típico). |
| HOBO U12-012    | Temperatura (°C) y Humedad relativa (%) interior. |                           |  |
| LM-8000 Lutron  | Velocidad del viento.                             | Manual. Cada 30 minutos.  | Rango de $0.4$ a $30.0$ m/s con resolución $0.1$ m/s.  |
| NUBBE           | Temperatura Superficial.                          |                           | Rango entre $-50$ a $380^{\circ}\text{C}$ , y exactitud de $\pm 2\%$   |

*Nota:* Elaboración propia.**Confort**

Para el análisis de confort y la coherencia entre la predicción del confort bajo los dos modelos propuestos por la norma y la situación en las aulas analizadas a través de la auditoría ambiental, se usa la herramienta *CBE Comfort Tool* (Hoyt et al., 2017), reconocida por ASHRAE (2013) para el análisis del confort en los espacios (figura 83 y figura 84).

## Figura 83

*Datos de ingreso modelo analítico.*

CBE Thermal Comfort Tool  
COMFORT FOR THE BEST ENVIRONMENT

Inputs

Select method:

Operative temperature  
23.2 °C Temperatura Operativa (°C)

Air speed  
0.1 m/s Velocidad del aire (m/s)

Relative humidity  
83.2 % Humedad relativa (%)

Metabolic rate  
1 met Tasa metabólica (met)

Clothing level  
0.6 clo Aislamiento de ropa (clo)

*Nota:* Hoyt et al. (2017).

## Figura 84

*Datos de ingreso modelo adaptativo.*

CBE Thermal Comfort Tool  
COMFORT FOR THE BEST ENVIRONMENT

Inputs

Select method:

Operative temperature  
23.2 °C Temperatura Operativa (°C)

Prevailing mean outdoor temperature  
22.7 °C Temperatura promedio exterior(°C)

Air speed  
0.3 m/s (59 fpm) Velocidad del aire(m/s)

*Nota:* Hoyt et al. (2017).

Para hallar la Temperatura Operativa  $T_o$ , se siguió la siguiente ecuación (1) propuesta por la norma (ASHRAE y ANSI, 2017, p. 10):

Ecuación 1:

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

Donde,

$T_o$ : Temperatura operativa.

$T_a$ : Temperatura del aire.

$T_{mr}$ : Temperatura media radiante.

A (valor en función de la velocidad del aire) = 0.5 (<0.2 m/s); = 0.6 (0.2 a 0.6 m/s); = 0.7 (0.6 a 1.0 m/s).

Para otros valores como la Temperatura Media Radiante  $T_{mr}$  necesaria para hallar la  $T_o$ , se procesó información como las temperaturas superficiales tomadas en el aula, y las dimensiones del espacio, usando el factor de forma desarrollado localmente (Forbes, 2017). Por último, para el valor A referido a la ventilación, se tomó el menor valor, debido a que la velocidad del aire resultó imperceptible para los equipos usados.

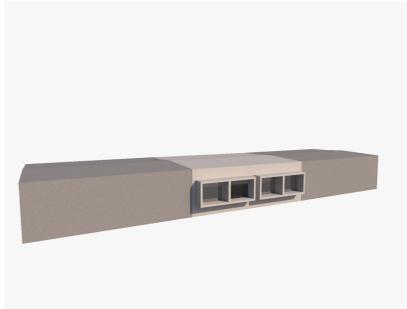
## Simulación

Para la verificación del desempeño térmico de las estrategias aplicadas al caso base derivadas de la norma *NTC 4595*, y de las principales recomendaciones de los autores estudiados, se emplea el software *Sefaira*, el cual permite hacer simulaciones desde etapas tempranas basadas en modelados en 3D que se realizan en el programa como *SketchUp* y a través de la web es posible verificar rápidamente desempeños térmicos como lumínicos.

Se parte de un caso base inspirado en el aula de estudio, con envolvente en bloque de cemento de 0.20 m con cámara de aire interior +aislamiento+ placa panel yeso, (composición por defecto de la envolvente en bloque de concreto, con 1.11 (W/m.K) de conductividad térmica). Las aberturas en fachada sin vidrio representan más del 50 % del área de la planta con 32 m<sup>2</sup> (figura 85 y figura 86). La cubierta tipo sándwich tiene una transmitancia (U)= 2.03 (W/m.K), Espesor (m) (Losa concreto=0.10; lamina panel yeso=0.019). Conductividad ( $\lambda$ ) (Losa concreto=0.53; lamina panel yeso=0.16). Resistencia (R) cámara de aire= 0.18.

**Figura 85**

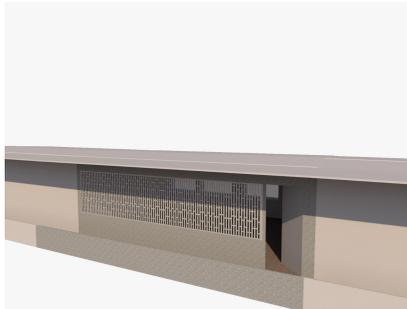
*Fachada principal.*



*Nota:* Elaboración propia.

**Figura 86**

*Fachada hacia el corredor.*

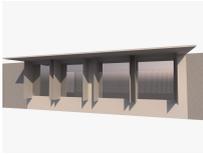


*Nota:* Elaboración propia.

Las especificaciones para la ventilación natural contenidas por defecto en el software, permitió simular todos los casos solo con ventilación natural de tipo escolar (pre-establecida por el software) con la ventilación mecánica siempre apagada. También se asumió como 100 % el área que se abre, todas las ventanas abiertas, si el edificio está ocupado, y todas las aberturas abiertas, si hay viento en el exterior. En cuanto a las variaciones que recogen las principales recomendaciones referidas a la composición de la envolvente y sombreado sobre fachada, como se presenta en la tabla 26.

Tabla 26

*Alternativas de diseño basadas en la envolvente.*

| Componentes  | Mayor aislamiento   | Ladrillo   | Alero  |
|--|---|--|--|
| Ventana fachada principal.   |  |  |  |
| Ventana fachada hacia el corredor.                                       | Igual al caso base.   |  | Alero como elemento de sombreado.  |
| Materialidad en la envolvente (composición predefinida por el software). | Bloque de concreto hueco+aislamiento+placa panel yeso.                            | Ladrillo+aislamiento+revestimiento+placa panel yeso                    | Bloque de concreto hueco+aislamiento+placa panel yeso.                             |
| Valores típicos de conductividad (U).                                    | Bien aislado (150 mm) entre 0.1 a 0.35 W/m <sup>2</sup> -k.                       | Aislamiento pobre (aprox. 50 mm) entre 0.49 y 1.1 W/m <sup>2</sup> -k. | Sin aislamiento entre 1.1 a 5 W/m <sup>2</sup> -k.                                 |

*Nota:* Elaboración propia.

Y el segundo grupo de variaciones se refiere a las dimensiones de aberturas, tanto en fachada como en la ventana hacia el corredor (tabla 27):

Tabla 27

*Alternativas de diseño basadas en dimensión de aberturas.*

| Componentes                               | Ventana 1/6   | Ventana 1/9   |
|---|---|---|
| Ventana fachada principal.                |   |   |
| Ventana fachada hacia el corredor.        |  |  |
| Materialidad en la envolvente y cubierta. | Igual que Modelo Base   |   |

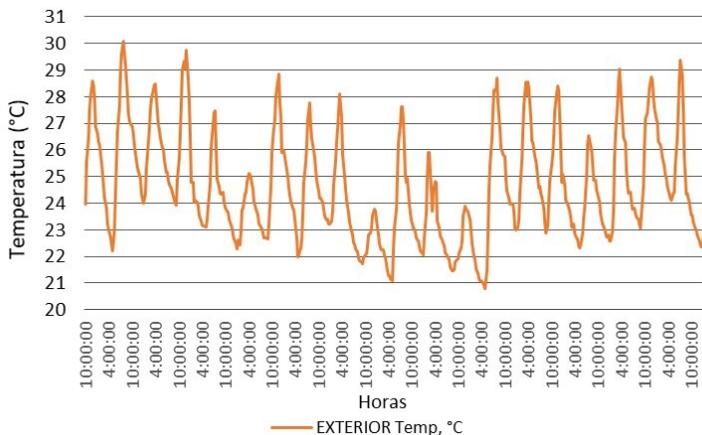
*Nota:* Elaboración propia.

## Resultados

Santiago de Cali es una de las principales ciudades del país. Localizada en una latitud de 3.26° y longitud 76.31 O. Definida por el IDEAM como una ciudad con clima cálido seco, con menor presencia de Cálido semi-húmedo hacia la ladera sur-occidental. La caracterización climática a partir de las mediciones realizadas al exterior del colegio, muestran como la temperatura promedio corresponde a 24.6°C y 71.5 HR%, mientras los valores máximos de temperatura fueron 30°C y 86.5%HR, y los valores mínimos, resultaron del 20.5°C y 47% de HR (figura 87 y figura 88).

**Figura 87**

*Temperatura al exterior del colegio.*



*Nota:* Elaboración propia.



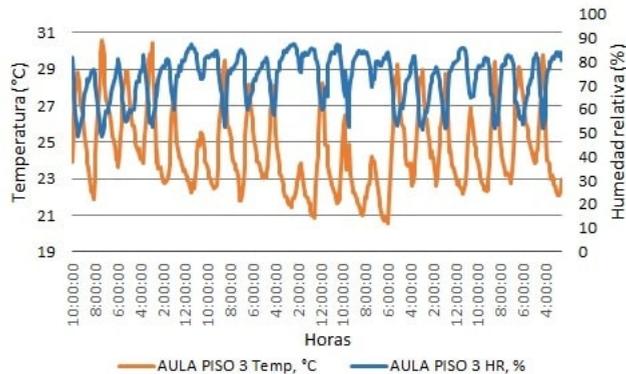
centaje de percepción de confort, refleja como el espacio no logra el 80% de aceptabilidad térmica, según lo recomienda la norma sobre condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas- *NTC 5316 (ICONTEC, 2004)* y la internacional ASHRAE.

### **Resultados componente objetivo**

Las mediciones realizadas al interior del aula durante el mes de marzo arrojaron valores promedios de temperatura de 24.5°C y 72% de HR. Mientras los valores máximos fueron de 30.5°C y 87.6% de temperatura y humedad relativa respectivamente. Finalmente, los valores mínimos de temperatura bajaron hasta 20.5°C y 48% de HR (ver figura 89).

**Figura 89**

*Temperatura y humedad relativa al interior del aula.*



*Nota:* Elaboración propia.

### **Confort**

Según el modelo adaptativo, el aula presentaría el 90% de aceptabilidad térmica, la cual se encuentra en un rango de temperatura operativa de 22.3 a 27.3°C (ver figura 90), mientras bajo el modelo analítico el modelo teórico, arroja que la situación del aula se encontraría cercana al confort, con el 11% de estudiantes insatisfechos y con -0.54 PMV correspondiente a ligeramente frío (ver figura 91).

Figura 90

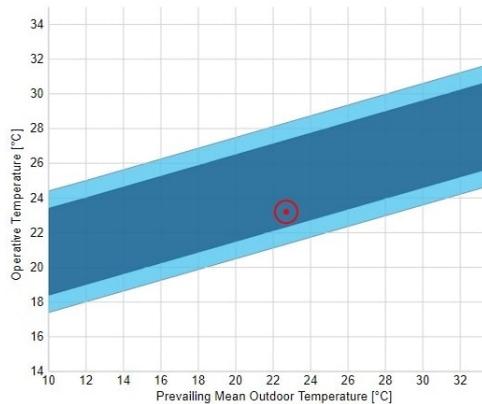
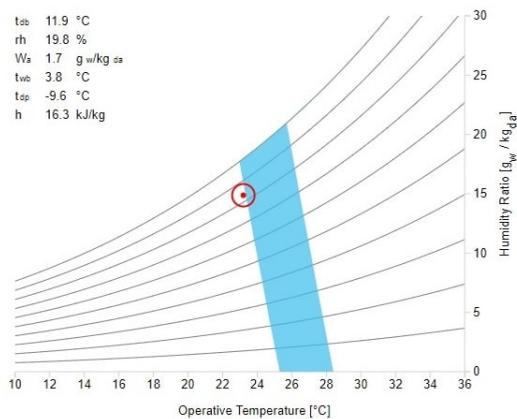
*Modelo adaptativo.**Nota:* Elaboración propia.

Figura 91

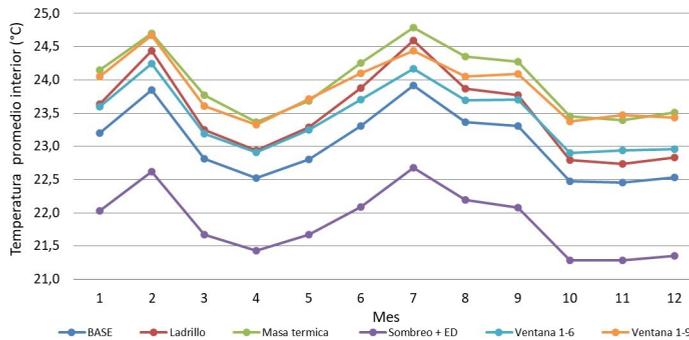
*Modelo analítico.**Nota:* Elaboración propia.

## Desempeño térmico de alternativas

La temperatura promedio interior de las variaciones, muestra como la variación que presenta el mejor desempeño, es el aula que presenta alero con envolvente delgada (Alero +ED) con temperatura interior promedio máxima de 22.7°, y mínima de 21.2°C, frente a la opción con temperaturas promedio más altas como la que presenta una mayor masa térmica, la cual alcanza temperaturas promedio máximas hasta 24.7°C y mínimas de 23.5°C (ver figura 92).

Figura 92

*Promedio de temperatura en las variaciones de la envolvente.*



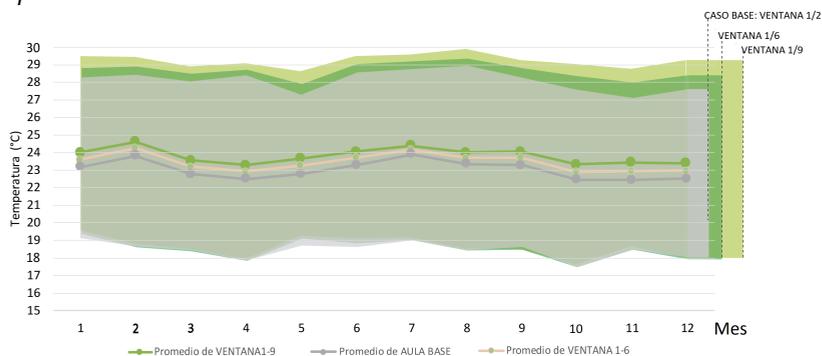
*Nota:* Elaboración propia.

Las demás variaciones resultan con temperaturas promedio entre el caso base y la opción con mayor masa térmica, lo que indica que presenta un mejor desempeño el caso base con envolvente en bloque de ladrillo hueco y proporción de ventana de 1/2 frente a las demás opciones como envolvente en ladrillo, y menor área de ventanas representadas en las situaciones de Ventana 1/6 y ventana 1/9.

Comparando los desempeños por grupos, se puede observar como las opciones de tamaños de aberturas presentan un desempeño similar, logrando las mejores temperaturas el caso base, el cual corresponde a una mayor área de ventana, la cual permite una mayor sustitución del aire caliente, por aire más fresco del exterior. Vale la pena resaltar que, a pesar de las diferencias, estas no son muy amplias presentando 1°C entre la opción que presenta las menores ventanas (1/9), frente al caso base con mayor área (1/2) (figura 93).

Figura 93

Comparación dimensión de aberturas.

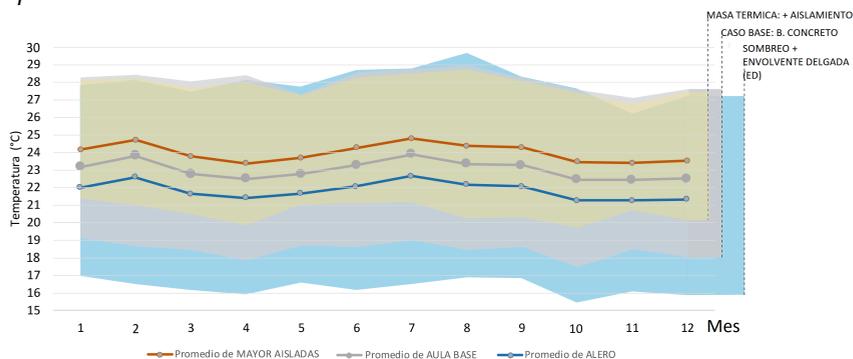


Nota: Elaboración propia.

Las variaciones entre el caso base, mayor masa térmica y sombreado (con envolvente delgada), presentan temperaturas máximas similares, las cuales rondan entre los 26°C y los 30°C. Sin embargo, la diferencia se presenta en las temperaturas promedio, con diferencias de 2°C y más drásticamente en las temperaturas mínimas, las cuales presentan diferencias hasta de 4.5°C (figura 94).

Figura 94

Comparación masa vs sombreado en fachada.

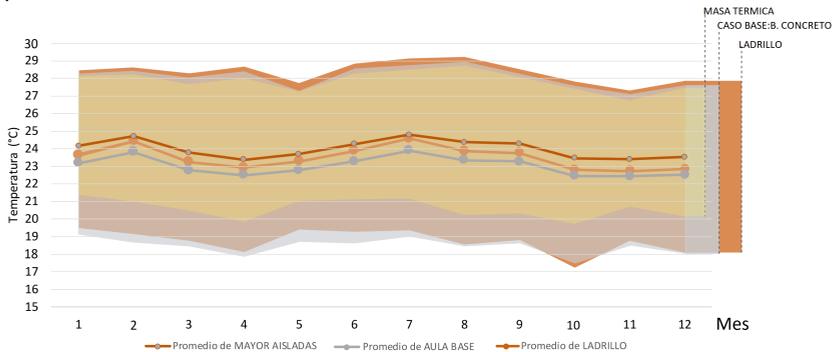


Nota: Elaboración propia.

Por último, las variaciones entre la masa térmica con la misma área de aberturas, muestra como presenta un mejor desempeño térmico la variación con mayor masa térmica, que las que se conforman por bloque de concreto o de ladrillo. Y entre estas dos últimas, presenta un ligero mejor desempeño el bloque de ladrillo hueco (0.5°C de diferencia) (figura 95).

**Figura 95**

*Comparación materialidad envolvente.*



*Nota:* Elaboración propia.

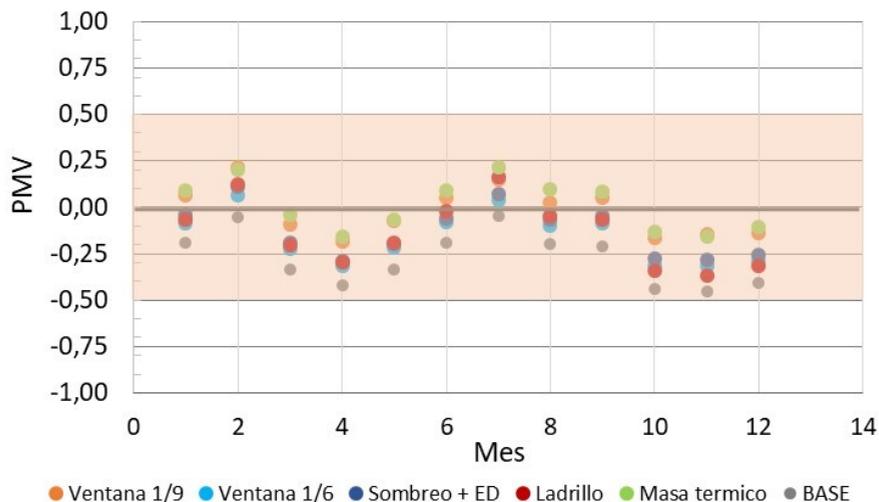
## Confort

A partir de las simulaciones tanto el caso base, como todos los modelos, resultan en confort entre las categorías -0.5 a +0.5 como se presenta en la figura 96. Situación diferente a lo arrojado por el modelo teórico, en donde el aula resultó en disconfort por situación ligeramente fría, y situación muy distante de la expresada por los estudiantes, en donde la mayoría manifestó disconfort por frío.

En cuanto al modelo adaptativo el software *Sefaira*, no presenta resultados bajo dicho modelo, sin embargo, si se toman los tres valores centrales de la escala de sensación térmica como situación de confort o aceptabilidad del ambiente térmico, se puede determinar que la aceptabilidad es baja, y los votos en situación de disconfort que suman la mayoría del 72.2%.

Figura 96

PMV en las alternativas simuladas.



Nota: Elaboración propia.

## Discusión

La norma del año 2000 recomienda una proporción de aberturas de 1/6 en relación con el área de la planta, mientras la del año 2015 reduce la proporción recomendada a 1/9 (ICONTEC, 2015), en detrimento de las condiciones térmicas generadas. Lo anterior puede ser confuso para los diseñadores que siguen la norma como guía de diseño para alcanzar aulas confortables (Montoya, 2019).

Varios autores como Rafael Serra recomiendan una mayor área para ventilar, para promover el paso de la ventilación y una relación directa entre el exterior y el interior (Serra, 1999). Situación que se reafirma con el análisis realizado sobre el caso de estudio, el cual presenta mayor área para ventilar a la recomendada por la norma, demostrando un mejor desempeño hasta 2°C en algunos meses, especialmente en los momentos de temperaturas máximas. Varios autores, recomiendan evitar el ingreso de aire en climas cálidos a temperaturas elevadas (Koenigsberger et al., 1977), sin embargo, en los modelos simulados se presentó

mejor desempeño y un mayor ingreso de viento. También se presentó un mejor desempeño y una mayor área de abertura, que la diferente posición de las aberturas recomendadas por autores como [Allan Konya \(1980\)](#), puesta a prueba en el modelo con relación 1/9, en donde las aberturas además de disminuir, cambian de posición. La validez de recomendaciones como las realizadas por [Karl Mahoney \(Koenigsberger et al., 1973\)](#) sobre proveer sombreado durante todo el año, se logró verificar a través del modelo con sombreado y envolvente delgada, la cual presentó un mejor desempeño frente a la variación de mayor masa sin protección.

Por otro lado, la diferencia que realiza la norma entre preferir envolvente con bloque de concreto frente al ladrillo no presentó un comportamiento diferenciado. El desempeño térmico de los dos materiales es similar, con diferencia de comportamiento entre 0° a 0.5°C. El modelo con situación de mayor masa térmica (muro doble), presentó temperaturas máximas similares, sin embargo, no alcanzó temperaturas tan bajas como en las envolventes en bloque de concreto o ladrillo. La masa térmica mayor, logra mantener una temperatura al interior menos variable entre 20°C y 28°C, dado el efecto de barrera y acumulación de energía ([Serra, 1999](#)) sin que el espacio logre aprovechar la oscilación térmica diaria de 10°C en promedio, y el refrescamiento que puede derivarse de incorporar temperaturas más bajas al espacio, como estrategia para evacuar el aire que se acumula al interior a temperatura más alta ([San Juan et al., 2013](#)).

Una de las recomendaciones de la envolvente para retardar el paso del calor es la cámara de aire ([Serra, 1999](#)). A través de la simulación se logró verificar que la cámara de aire sin ventilación no es tan efectiva, presentando temperaturas mayores a las opciones centradas en las aberturas.

En cuanto al confort térmico, la predicción del modelo *PMV* teórico, bajo la herramienta *CBE Comfort Tool*, resultó más cercana a la percepción térmica de los estudiantes del aula, los cuales manifestaron mayor situación de discomfort por frío, sin embargo, el porcentaje predicho por este modelo de 11 % de insatisfechos, resultó muy distante de 72 % que expresaron inconformidad térmica. Por otro lado, la predicción del 90 % de satisfechos bajo el modelo adaptativo, no se acercó a la percepción de los estudiantes, con tan sólo el 27 % en confort.

## Conclusiones

Las variaciones de diseño aplicadas al caso base, inspiradas en los autores emblemáticos que trabajaron climas cálidos, mostraron poca variabilidad en las temperaturas medias y promedio, lo que indica que se debe profundizar en los estudios de estrategias híbridas que combinan ventilación mecánica y técnicas de enfriamiento evaporativo, las que desbordan el análisis bajo el software *Sefaira* (versión educativa) y los alcances de este trabajo.

Por último, el modelo teórico PMV predijo una situación térmica similar a la que arrojó el estudio de campo, sin embargo, el porcentaje de insatisfechos presentó una distancia amplia a la expresada por los estudiantes. Mientras en la simulación el PMV presentó una tendencia muy diferente, por su parte, el modelo adaptativo, no se acercó en su predicción, ni mantuvo los porcentajes de aceptabilidad, a pesar de que las temperaturas se mantuvieron cercanas a los rangos de confort establecidos por la norma.

Es necesario revisar las recomendaciones de la norma, las cuales no siempre garantizan un mejor desempeño térmico del aula, con la retroalimentación de estudios como el que soporta la siguiente contribución, en donde la evidencia se presenta a partir de mediciones en sitio, encuestas y simulaciones para validar estrategias y comportamientos.

## Referencias

- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Ed.) (2013). *Standard 55-2013 user's manual: thermal environmental conditions for human occupancy* ASHRAE.
- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers y American National Standards Institute. (2017). *Standard 55-2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE.
- de Dear, R. J., y Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 1-18.  
<https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>.
- Evans, J. M., y de Schiller, S. (1994). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Universidad de Buenos Aires.
- Fanger, P. O. (1972). Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. *Applied Ergonomics*, 3(3), 181.  
[https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(72\)80074-7](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(72)80074-7).
- Fanger, P. O., y 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).
- Forbes, F. J. (2017). *Diseño de una aplicación computacional para el calculo de factor de vision y TMR en espacios arquitectónicos* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad Del Valle.
- Fuentes, V. A. (1999). *Arquitectura bioclimática* [Notas del curso]. Universidad Autónoma Metropolitana. <https://es.scribd.com/doc/102028439/Arquitectura-Bioclimatica-Victor-Armando-Fuentes-Freixanet>.
- Givoni, B. (1969). *Man, climate and architecture*. Elsevier.
- Gómez-Azpeitia, G., Morales, G. B., y Torres, R. P. R. (2013). El confort térmico: Dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa*, 2(1), 45-57.  
<https://www.redalyc.org/pdf/948/94820107.pdf>.
- Gonzalo, G. E. (2003). *Manual de Arquitectura bioclimatica*. Nobuko.

- Herrera, C. A., y Rosillo, M. E. (2019). *Confort y eficiencia energética en el diseño de edificaciones: Un enfoque práctico*. Editorial Universidad del Valle. <https://doi.org/10.25100/peu.163>.
- Hoyt, T., Schiavon, S., Piccioli, A., Cheung, T., Moon, D., y Steinfeld, K. (2017). CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>.
- Hwang, R.-L., Cheng, M.-J., Lin, T.-P., y Ho, M.-C. (2009). Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot-humid regions. *Building and Environment*, 44(6), 1128-1134. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2008.08.001>.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Ed.) (2004). *Norma Técnica Colombiana NTC 5316:Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas*.
- Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y certificación (Ed.) (2015). Norma Técnica Colombiana NTC 4595: Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares. [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles355996\\_archivo\\_pdf\\_norma\\_tecnica.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles355996_archivo_pdf_norma_tecnica.pdf).
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Ministerio de Educación Nacional de Colombia (Ed.) (2000). *Norma Técnica Colombiana 4595: Ingeniería civil y arquitectura planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*.
- Koenigsberger, O., Mahoney, C., y Evans, M. (1973). *El clima y el diseño de casas*. Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos.
- Koenigsberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew, A., y Szokolay, S. V. (1977). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Editorial Paraninfo.
- Konya, A. (1980). *Design primer for hot climates*. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2013-0-04662-2>.
- Krüger, E. L., y Zannin, P. (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>.

- Kwok, A. G., y 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., y Brown, K. (1998). Thermal comfort in tropical classrooms/Discussion. *ASHRAE Transactions*, 104, 1031-1047.
- Montoya, O. L. (2019, 18-21 de septiembre). *Cumplimiento de la norma sobre comodidad ambiental en aulas de colegios públicos en Cali*. XI ELACAC Econtro Latino-Americano de Conforto No Ambiente Construido, Brasil.  
<https://www.even3.com.br/encac2019/>.
- Montoya, O. L., y Herrera, C. A. (2019, 17-18 de octubre). *Confort térmico: percepción, teoría y simulación en aulas naturalmente ventiladas en el trópico*. VI Congreso Latinoamericano de Simulación de edificios, Argentina.  
<http://ibpsa.com.ar/wp-content/uploads/2019/12/actas-IBPSA-LATAM-2019.pdf>.
- Olgay, V. (1963). *Clima y Arquitectura en Colombia*. Editorial Gustavo Gili.
- Sakiyama, N. R. M., Carlo, J. C., Frick, J., y Garrecht, H. (2020). Perspectives of naturally ventilated buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109933>.
- San Juan, G. A., Hoses, S., y Martini, I. (2014). *Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI: Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares*. Banco Interamericano de Desarrollo.  
<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. A., Rosenfeld, E., Santinelli, G., Discoll, C., Viegas, G., Brea, B., Dicroce, L., Melchiori, M., y Rojas, D. (2013). *Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Serra, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Editorial Gustavo Gili.
- Subhashini, S., y 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.jobee.2018.04.014>.
- Tablada, A., de La Peña, A. M., y de Troyer, F. (2005). *Thermal comfort of naturally ventilated buildings in warm-humid climates: field survey*. The 22nd Con-

- ference on Passive and Low Energy Architecture. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.590.6434&rep=rep1&type=pdf>.
- Teli, D., Jentsch, M. F., y James, P. (2014). The role of a buildings 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>.
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J., Rendón, L., Sarmiento, L. C., Arango, L., Tafur, L. A., Tilano, L. M., Echeverry, N. V., Echeverria, N., 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* Editorial Bonaventuriana; Ediciones Unisalle; Universidad Nacional de la Plata <http://www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co/libros/2018/comodidad-ambiental-aulas/index.html>.
- Zhang, S., y Lin, Z. (2020). Extending Predicted Mean Vote using adaptive approach. *Building and Environment*, 171, 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106665>.

# El balcón como dispositivo de sombreamiento y su efecto sobre la reducción de la carga térmica: caso de estudio en edificios residenciales de gran altura en el clima cálido-húmedo

The Balcony as a Shading Device and its  
Effect on Reducing the Thermal Load:  
*Case Study on High-Rise  
Residential Buildings in the Hot Humid Climate*

*David Saldarriaga Bolívar*<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Arquitecto, Magister en Bioclimática de la Universidad de San Buenaventura, Colombia.  
Constructora Capital, Colombia. Correo electrónico: sadavibo@gmail.com.

## Resumen

En el clima cálido húmedo que se caracteriza por una temperatura del aire elevada y una humedad relativa alta, la correcta utilización de los sistemas de sombreamiento y el control de las ganancias térmicas, se convierten en conceptos claves para la gestión eficiente de la energía en las edificaciones y el control de las condiciones de habitabilidad en el espacio interior. El objetivo de este trabajo es analizar la influencia que tiene el balcón abierto, actuando como elemento de sombreamiento en la reducción de la carga térmica en edificios residenciales de gran altura en el clima cálido húmedo, tomando como referencia la ciudad de Medellín. Con este fin, se llevó a cabo el análisis y simulación de un modelo computacional, y dos casos de comprobación virtuales, a través de los cuales se analizaron tres condiciones diferentes: (a) un caso base teórico sin balcón; (b) un balcón de 1.3 metros; y (c) un balcón de 2.5 metros de longitud sobre la fachada de un edificio. En estos casos se analizó la variación e influencia de distintos parámetros como la orientación del edificio, la ubicación del balcón, la tipología y la altura de cada apartamento, en función de la reducción de la temperatura media radiante. Los resultados sugieren que la introducción de un balcón en edificios de gran altura puede compensar la carga térmica producto de una orientación desfavorable del edificio, como también que el aumento de la extensión del balcón, es directamente proporcional a la reducción de la carga térmica en la edificación.

**Palabras Clave:** Región tropical húmeda, balcón, sombreamiento solar, temperatura media radiante, vivienda multifamiliar en altura.

## Introducción

En la actualidad, distintas ciudades en vía de desarrollo, entre ellas Medellín, debido a condiciones de carácter demográfico, económico y geográfico, han apostado por un modelo de planificación y ordenamiento en el que la ciudad se desarrolla hacia el interior y crece en vertical, aprovechando las potencialidades de la ingeniería, las nuevas formas de redensificación del territorio y los procesos de síntesis que han ocurrido alrededor de la unidad de vivienda, hoy en día, agrupada en grandes unidades multifamiliares que dominan el paisaje construido de la ciudad. El acelerado ritmo de crecimiento, la alta demanda y la velocidad de ejecución de los proyectos, que sumados a la falta de políticas públicas que regulen la implementación y el uso de estrategias pasivas en las edificaciones, han permitido la consolidación de un modelo edificatorio, en el cual, las condiciones de habitabilidad, confort y calidad ambiental en el espacio interior, han sido generalmente relegadas al uso y el potencial de los sistemas electromecánicos que compensan las ganancias térmicas padecidas por las edificaciones, acrecentando la demanda energética y los costos de vida en la ciudad.

Por consiguiente, el presente trabajo como respuesta a la búsqueda de estrategias pasivas que se puedan adaptar al contexto cultural, económico y ambiental en el que se desarrolla la vivienda multifamiliar en la ciudad, pretendió desarrollar un ejercicio investigativo sobre el aprovechamiento del sombreado como una estrategia pasiva esencial para el tratamiento ambiental de las edificaciones en el clima cálido húmedo. De esta manera, se desarrolló un trabajo en el que se analizó el balcón abierto, entendido como un componente construido y habitable de la vivienda, el cual actúa como un alero que se extiende y sombrea la fachada del edificio; siendo evaluado a partir de la reducción de la temperatura media radiante (TMR) que éste puede generar al interior de las distintas tipologías de apartamentos analizados. En otros términos, este trabajo se convirtió en la posibilidad de contribuir, desde los procesos de investigación, a la necesidad actual de desarrollar en la ciudad una arquitectura comercial, industrializada y repetitiva, pero que, a su vez, pueda considerar y atender los factores de bienestar térmico de los ocupantes y los problemas de sobrecalentamiento en el espacio interior de la unidad de vivienda.

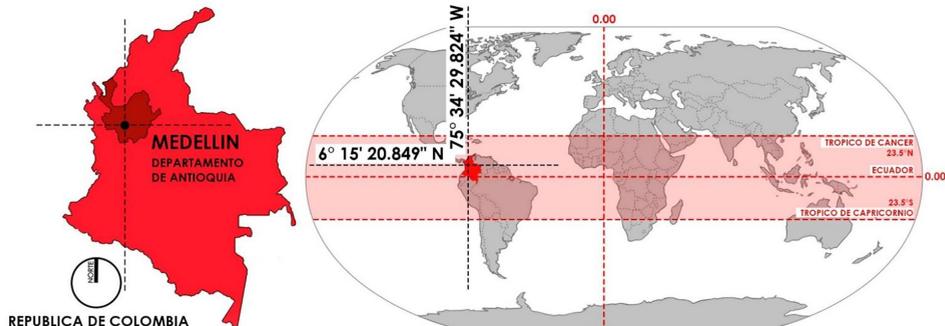
## El trópico y la arquitectura tropical

La arquitectura tropical hace referencia a todas aquellas manifestaciones constructivas y de planeación del territorio desarrolladas dentro de la franja del globo terrestre localizada entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, entre las latitudes  $23^{\circ}50'$  al norte y  $23^{\circ}50'$  al sur respectivamente. Es posible caracterizar al trópico como aquella zona de la tierra en donde los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre la superficie terrestre (Salazar, 2003), lo que propicia la ausencia de estaciones climáticas (invierno, primavera, verano y otoño), estableciéndose un entorno ambiental en el que la temperatura puede ser constante a lo largo del año, pero que además, como lo expresan Kottek et al. (2006), dentro de esta zona de la tierra pueden converger una gran variedad de formas climáticas —húmedas, áridas, templadas, frías e incluso polares—, que varían en función de factores como la ubicación geográfica, la latitud, la elevación sobre el nivel del mar, los vientos, entre otros; los cuales a su vez determinan la forma y composición ambiental de cada región del planeta.

En la zona geográfica del trópico, el clima predominante varía entre cálido seco y cálido húmedo, dentro de este último, es posible caracterizar las condiciones ambientales de la ciudad de Medellín, ubicada a una altitud aproximada de 1495 metros en las coordenadas  $6^{\circ}15'$  al norte del Ecuador y  $75^{\circ}34'$  al oeste de Greenwich (ver figura 97).

Figura 97

*Localización geográfica de la ciudad de Medellín.*



*Nota:* Elaboración propia.

El clima de Medellín se clasifica de acuerdo a Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006) como (Af) Tropical, que corresponde a un tipo de clima Ecuatorial o Tropical húmedo. Se experimenta una elevada y constante temperatura a lo largo del año, que se combina con una alta humedad ambiental; frecuentemente el cielo es nuboso y se obtiene una precipitación constante en todos los meses del año, la cual generalmente supera los 60mm, por lo cual es prevalente una forma de radiación difusa con una intensa luminosidad, la cual se acompaña de bajas y constantes velocidades de viento a lo largo y ancho del territorio.

### La arquitectura en la zona tropical

El sol y su alta incidencia en las regiones tropicales hacen que una de las estrategias prioritarias de la arquitectura bioclimática sea el control solar. Distintos autores han caracterizado la edificación en el trópico como una forma de arquitectura basada en la protección y control de la radiación solar. De acuerdo con Rivera (1980), la clave para el desarrollo de una arquitectura genuinamente tropical se convierte en el control acertado de la temperatura en las edificaciones y en su interior. Serra (1999) expone por su parte que,

la arquitectura tropical se traduce en una edificación ligera, ventilada, protegida de las ganancias solares y sin ningún tipo de inercia térmica; una arquitectura en donde las cubiertas se elevan y los aleros se proyectan para proteger el cerramiento del edificio ante la intensa radiación solar. (p. 8)

Según Salazar (2003),

en las regiones cercanas al Ecuador, los rayos solares inciden pronunciadamente sobre la superficie terrestre durante buena parte del día, por lo que prácticamente cualquier edificación que se localice en esta zona, necesitará brindar particular atención al control solar sobre la envolvente de la edificación. (p. 9)

Es claro que la caracterización formal de la envolvente en el edificio del trópico húmedo, deberá concebirse a partir de una función primordial: evitar el tránsito de calor hacia el ambiente interior.

## El control solar en la arquitectura

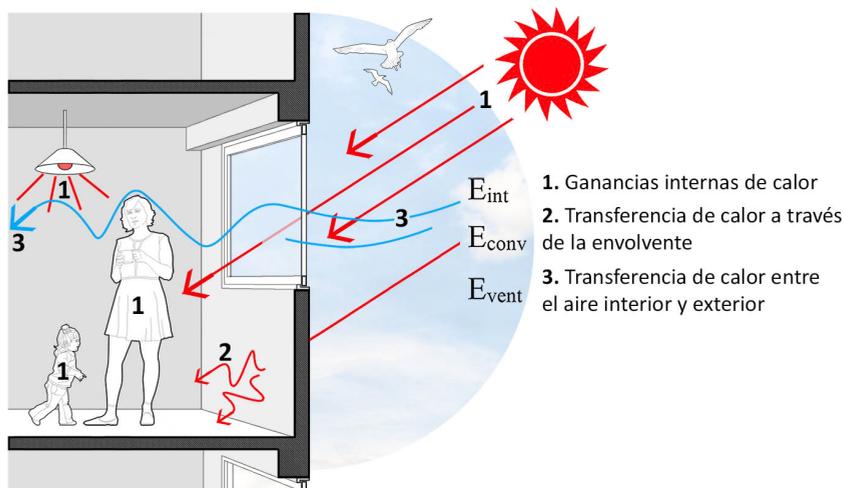
La radiación solar y su alta incidencia en las regiones tropicales hacen suponer al sombreado como una de las estrategias más importantes para la adaptación de la arquitectura a las condiciones ambientales que implica el clima cálido húmedo.

La función principal de un sistema de control solar es la de proteger la envolvente del edificio ante la radiación solar incidente. El uso de éste, como solución al problema del sobrecalentamiento en el espacio interior, es un recurso del diseño bioclimático que impacta en forma relevante las condiciones de confort, y reduce la necesidad del uso de sistemas de climatización artificial en las edificaciones. De acuerdo con *Sosa y Siem (2012)*,

la radiación solar, que se puede determinar como la principal causa del calentamiento al interior de las edificaciones tropicales, actúa de dos maneras: (a) Por penetración directa a través de las aberturas y superficies vidriadas en la envolvente de la edificación, y (b) a través del calentamiento de los cerramientos exteriores opacos y la posterior transmisión de calor al espacio interior (ver figura 98). (p. 15)

Figura 98

*Ganancias térmicas en una edificación.*



Nota: Elaboración propia.

## Temperatura media radiante (TMR)

De acuerdo con [Serra y Coch \(1995\)](#), la medición de las temperaturas en los espacios resulta especialmente importante, ya que permite evaluar su estado energético, la cantidad de calor acumulado, la radiación térmica emitida, entre otros aspectos; estos definen las cualidades térmicas del lugar. Técnicamente, la TMR se define como la temperatura uniforme de un ambiente imaginario, en el que el intercambio de calor por radiación es igual al calor que se intercambia en un ambiente real no uniforme. Una fórmula sencilla, usada de forma habitual y recomendada para evaluar la TMR, que, a su vez, permite comprender los distintos fenómenos y variables que se dan en el cálculo y evaluación de esta es la siguiente:

$$\bar{t}_r = t_g + 1.9\sqrt{v_a(t_g - t_a)}$$

Donde:

$t_g$  es la temperatura de globo (temperatura medida en el centro de un globo de cobre hueco, pintado de negro mate, generalmente de 15 cm de diámetro y con una emisividad de 0.96).

$t_a$  es la temperatura del aire.

$v_a$  es la velocidad relativa del aire.

De acuerdo con [Bean \(2013\)](#), se debería eliminar la referencia que se hace en los códigos de eficiencia energética en las edificaciones para controlar la temperatura del aire y enfocarse en el problema real de los edificios: la temperatura de las superficies. Si realmente existe un interés en resolver los problemas de temperatura media radiante, en relación con el rendimiento del cerramiento, se podrían resolver los problemas energéticos y de confort térmico en las edificaciones.

## El balcón

Según [Salazar \(2003\)](#), “todo sistema de protección solar debe cumplir dos requisitos mínimos: (a) Evitar que la radiación directa ingrese o se transmita al interior del espacio, y (b) permitir la libre visual hacia el entorno exterior del edificio” (p. 9). Por consiguiente, un control solar adecuado se puede lograr a través de la implementación de sistemas físicos sobre la envolvente de la edificación, los cuales permiten, de acuerdo con la localización y los factores propios

de la mecánica solar, ser resueltos como aditamentos verticales, horizontales o como una combinación de ambos, siempre tendientes a reducir los efectos de la radiación solar en el interior y la envolvente del edificio.

Distintos autores han definido y caracterizado el balcón abierto en relación con los beneficios térmicos y ambientales que se pueden dar en una edificación a través de su implementación.

El Dien y Woloszyn (2004) definen el balcón como la extensión, al exterior, del espacio interior, ofreciendo en el edificio un lugar para la vista y un medio de protección contra la intemperie. De acuerdo con Ai et al. (2011), un balcón tiene un impacto sustancial en la interacción entre el edificio y los diversos elementos de su entorno, como el control solar, la iluminación natural, la transferencia de calor, el aislamiento acústico, el confort térmico, el uso de energía, etc. De acuerdo con Chan (2015), además de los beneficios sobre la ventilación natural en el edificio de vivienda multifamiliar, un balcón puede actuar como un alero y proporcionar sombreado solar para un apartamento en el piso inferior, logrando con esto, reducir el nivel de exposición y la carga de enfriamiento del espacio interior, lo que contribuye a la promoción de edificios ecológicos y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero en el sector de la construcción.

### Investigaciones previas sobre el balcón

Es posible encontrar un buen cuerpo de investigaciones<sup>49</sup> alrededor del balcón y sus efectos sobre el confort térmico, el rendimiento energético, el comportamiento de la ventilación y la temperatura al interior de las edificaciones. Sin embargo, son pocas las investigaciones<sup>50</sup> que han estudiado la influencia del balcón en edificaciones de gran altura, respecto a la reducción de la temperatura en los climas cálidos. A continuación, a través de la siguiente tabla, se presenta una cronología de estudios relacionados con el balcón y su capacidad de convertirse en una estrategia pasiva para el tratamiento climático en las edificaciones.

---

<sup>49</sup>(Chan y Chow 2010; Prianto y Depecker, 2003).

<sup>50</sup>(Omrani et al., 2017).

**Tabla 29***Cronología de estudios sobre el balcón.*


---

Dimensiones de voladizo óptimas para el ahorro de energía. (Raeissi y Taheri, 1998)

El efecto de los balcones sobre la distribución de la presión en la fachada y la inducción de la ventilación en edificios de baja altura. (Chand et al., 1998)

Característica del flujo de aire como efecto del balcón, el diseño de los vanos de apertura y las divisiones al interior, sobre la velocidad interior del viento. Un estudio de caso de vivienda tradicional en un barrio urbano en una región tropical húmeda. (Prianto y Depecker, 2003)

Investigación sobre el nivel de piso apropiado del edificio residencial para la instalación de un balcón, desde el punto de vista energético y el desempeño ambiental. Caso de estudio en Hong Kong. (Chan y Chow, 2010)

Investigación sobre el efecto de los balcones en la ventilación natural de viviendas en edificios de gran altura en el clima Subtropical. (Omran et al., 2015)

El efecto de la provisión de balcones sobre la ventilación natural y el confort térmico en edificios residenciales de gran altura. (Omran et al., 2017)

---

*Nota:* Elaboración propia.

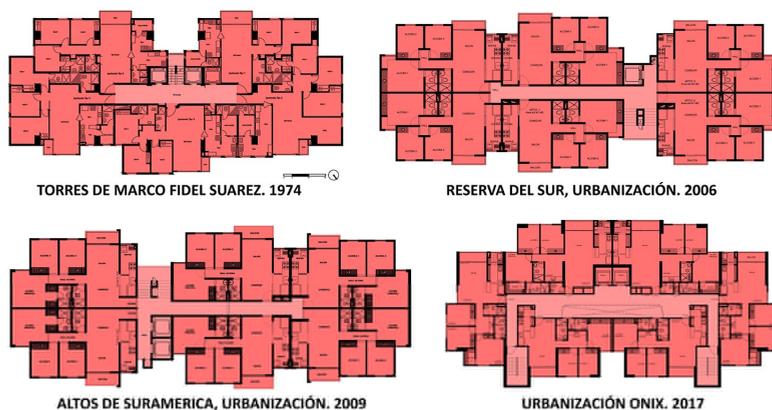
**Metodología**

Como proceso inicial metodológico, se recopiló información correspondiente a la tipología de edificación que históricamente ha tenido mayor producción y comercialización en el sector residencial multifamiliar de la ciudad de Medellín. La evaluación reveló que este corresponde a un edificio de planta “típica rectangular”, con una agrupación que oscila entre los seis y ocho apartamentos por cada nivel. Generalmente los edificios son de gran altura, con oscilaciones entre los quince y veinticinco pisos, en los cuales se ocupa la planta baja con las zonas de servicio, cuartos técnicos y espacios recreativos de uso común. En los pisos superiores o de cubierta, se suelen disponer espacios para los tanques de agua y los cuartos técnicos; el resto del edificio consiste en pisos típicos de apartamentos que comparten una zona común determinada por los pasillos, los vestíbulos

de los ascensores y las escaleras de evacuación, ubicándose los apartamentos en la zona externa periferal de la edificación (ver figura 99).

### Figura 99

*Selección y análisis de la tipología de la edificación de vivienda multifamiliar en Medellín.*



*Nota:* Elaboración propia.

### Descripción del modelo caso base y los modelos de comparación: etapa 1

Para efectos del presente trabajo, se determinó el análisis a partir de modelos digitales de un edificio de apartamentos teórico, el cual, en adelante, se denominará Caso Base Teórico o CBT, el cual se diseñó a partir de la interpretación, del que se considera como modelo de la edificación de vivienda multifamiliar en la ciudad de Medellín. Consta de 25 plantas típicas, en las cuales, cada una contiene seis unidades residenciales con áreas aproximadas entre los 75 y 85 metros cuadrados.

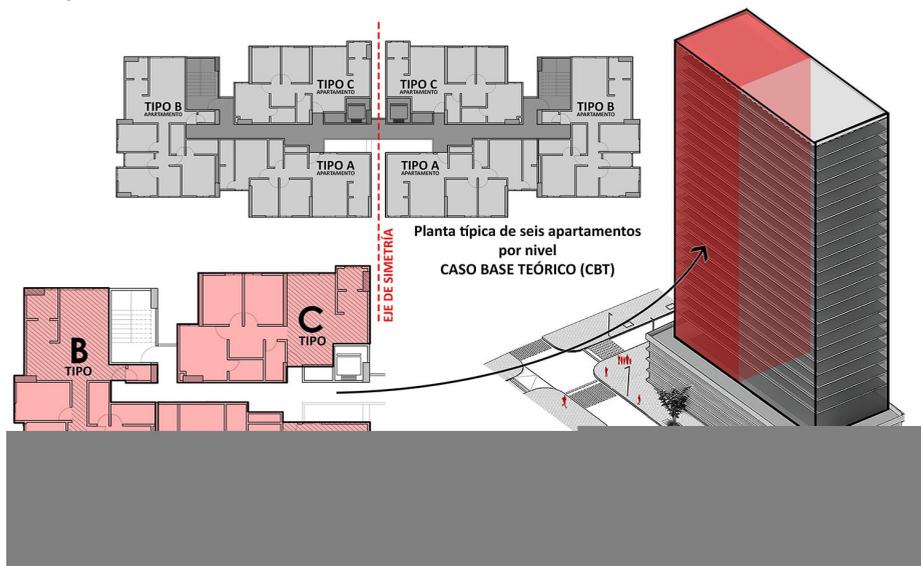
### *Variables de carácter arquitectónico*

Se decidió tomar como caso de estudio solo tres apartamentos del costado izquierdo del edificio (tipologías A, B y C), los cuales se consideraron representativos para el análisis y el acercamiento a la comprensión de la incidencia de los fenómenos ambientales sobre la edificación analizada. Se pretendió también, a partir de la variación en cada tipología, conocer los efectos ambientales

asociados a la ubicación de cada apartamento dentro de la planta típica y su distribución espacial al interior; para este caso, las tipologías A y C respondían a apartamentos con formas de ventilación unilateral y una única forma de exposición a la radiación solar: naciente o poniente, dependiendo de la implantación del edificio. Por otro lado, la tipología B, un apartamento con forma de ventilación cruzada, representa la tipología de apartamento, la cual, dada su ubicación al extremo o borde del edificio, cuenta con una mayor área de exposición a la radiación solar tanto del naciente como del poniente (ver figura 100).

**Figura 100**

*Planta típica de seis apartamentos por nivel – Selección de tipologías de análisis A, B y C.*

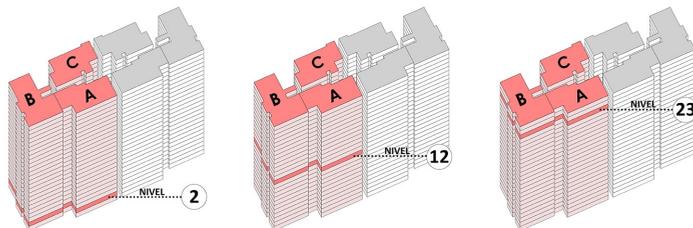


*Nota:* Elaboración propia.

De igual forma se procuró conocer y evaluar los efectos asociados a la variación de la altura sobre la cual se ubicará cada tipología de apartamento en el desarrollo vertical de la edificación; por lo cual, se determinó solo simular los pisos típicos 2, 12 y 23, con el fin evaluar e identificar las variaciones térmicas que pueden suceder en la parte baja, media y alta de la edificación (ver figura 101).

Figura 101

Representación del análisis ambiental en los pisos 2, 12 y 23.



Nota: Elaboración propia.

A efectos de simplificar el número de variables, y partiendo de la premisa de que el balcón se ha construido históricamente alrededor de la zona social en el apartamento —salón, comedor y cocina—, se decidió realizar la simulación computacional evaluando solo dicha área en cada una de las tipologías (A, B, C), descuidando así las zonas privadas que incluían las alcobas y los baños dentro del apartamento (ver figura 100 y figura 102).

Figura 102

Área de evaluación determinada para cada tipología de apartamento.

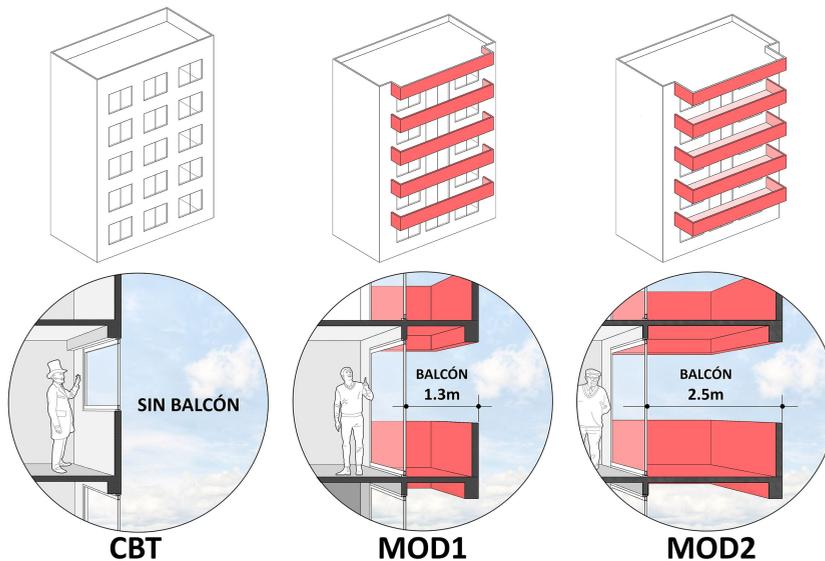


Nota: Elaboración propia.

Dado que el objetivo general de este trabajo se enfocó en el análisis y evaluación de la incidencia térmica del balcón, se determinó el análisis de dos casos de comparación (MOD1 y MOD2), que correspondían a la adición de un balcón abierto sobre la fachada del edificio. Ambos casos conservaron la misma estructura, programa y dimensiones del CBT, conllevando solo a una adición de dos tipologías de balcón abierto (ver figura 103). Un primer caso evaluado (MOD1), incluyó un balcón de 1.3 metros de largo, el cual representaba las dimensiones comerciales del balcón en la vivienda multifamiliar. En el caso del segundo modelo de comparación (MOD2), se determinó la evaluación de un balcón hipotético de 2.5 metros de extensión, el cual se produjo dada la intención de evaluar el efecto del crecimiento unidireccional de este sobre la fachada del edificio. Esta decisión, se basó en la investigación realizada por [Cheung et al. \(2005\)](#), quienes pudieron comprobar que cuanto más largo era el dispositivo de sombreado en un edificio, mayor era la reducción en la carga de enfriamiento de este.

**Figura 103**

*Modelos de análisis y de comparación.*



*Nota:* Elaboración propia.

A efectos de la lectura e interpretación de los resultados, se determinó un sistema de convenciones y nomenclatura, con el fin de diferenciar las tipologías de apartamentos (A, B y C) pertenecientes a cada modelo de análisis (CBT, MOD1 y MOD2), de la siguiente manera:

CBT (Sin balcón): (no usa comillas) Tipologías A – B – C.

MOD1 (Con balcón de 1.3 m): (usa una comilla al lado de la tipología de apartamentos) A', B', C'.

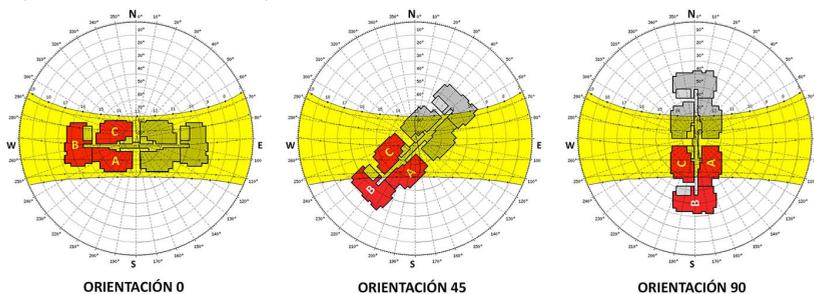
MOD 2 (Con balcón de 2.5 m): (usa dos comillas al lado de la tipología de apartamentos) A'', B'', C''.

### Variables de carácter ambiental

Como complemento al conjunto de variaciones de carácter arquitectónico previamente establecidas, se propuso el análisis adicional de una variable de carácter ambiental, a partir de la cual se procuró evaluar en la globalidad, el amplio margen de posibilidades que surgen en el escenario real de la implantación y construcción del edificio de vivienda multifamiliar en los territorios. De esta manera, se propuso la evaluación de tres posibles orientaciones del edificio, respecto a un norte asumido: (a) Orientación 0°, (b) orientación 45°, y (c) orientación 90° (ver figura 104).

**Figura 104**

*Tres tipos de orientaciones para la evaluación térmica de los modelos de análisis.*



*Nota:* Elaboración propia.

Es posible afirmar que la manera adecuada para la implantación de una edificación en la zona tropical se representa a través de la orientación  $0^\circ$ , en la que los planos de mayor área del edificio no están expuestos directamente a la radiación solar. De esta manera, se propuso el análisis de las tres orientaciones, con el fin de evaluar térmicamente los efectos de la rotación del edificio y la influencia que tiene el balcón en la reducción de la carga térmica en cada tipología de apartamentos.

### **Parámetros de evaluación y configuración de pruebas**

Para efectos del análisis de la influencia del balcón en la reducción de la carga térmica, se determinó, a través de simulaciones computacionales, evaluar el comportamiento térmico de cada apartamento en función de la TMR, analizando su desempeño a partir del conjunto de variables de carácter arquitectónico y ambiental previamente establecidas.

### ***Cálculo y procesamiento de datos. Análisis térmico (TMR)***

El conjunto de simulaciones térmicas en la investigación se llevó a cabo a través de DesignBuilder, un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios, cuyo motor de cálculo es *EnergyPlus*. Se simularon los tres modelos de análisis (CBT, MOD1, MOD2) los cuales contenían cada uno nueve apartamentos (Tipologías A, B, C), distribuidos en los pisos 2, 12 y 23. Posteriormente, se realizó un proceso de ajuste en la consecución de una configuración óptima para la evaluación de las diferentes variables y en procurar ceñir los modelos a la representación real del edificio de vivienda multifamiliar de la ciudad de Medellín. Se aplicaron algunas simplificaciones a los modelos y las simulaciones, tales como omitir el amueblamiento al interior, modelar cada edificio de apartamentos como un solo volumen, excepto por las unidades de interés, inadvertir el efecto de los edificios circundantes, y asumir que los sistemas de ventanas estaban completamente abiertas en el porcentaje máximo que permitiría cada una.

### ***Simulación***

En total, se realizaron 81 simulaciones en función de la TMR. Cada modelo se simuló en un entorno en el que no se consideró la naturaleza ni el parque edificado alrededor, ya que el objetivo de la investigación era evaluar el balcón

y el comportamiento de las condiciones ambientales de cada tipología de apartamento, sin que en estos interviniera la presencia de ningún agente externo que pudiera provocar alteraciones en los resultados o modificara las condiciones térmicas y ambientales del entorno.

Inicialmente se realizó la configuración de los materiales de las superficies. Se determinó que, para cada uno de los modelos de análisis, las paredes estarían compuestas por una capa de ladrillo de 120 mm (capa externa) y una capa de revoque sin acabado de 20 mm de espesor (capa interna), siendo esta la única configuración utilizada para los cerramientos de los tres modelos de análisis. Esta decisión se dio, debido a la tradición constructiva de la ciudad de Medellín, en donde se ha fijado el ladrillo a la vista como el acabado tradicional de las edificaciones, en una práctica recurrente y evidente a través de los distintos periodos de evolución que ha tenido el edificio de vivienda multifamiliar. De la misma manera, se determinó especificar como materiales para la superficie del piso y del cielo en cada tipología de apartamento, el acabado propio que tendría una losa vaciada en concreto, esto con el fin de no influir en las simulaciones y los resultados a través de las propiedades térmicas de los distintos materiales. La losa que sostiene cada nivel se modeló, con base en las dimensiones comerciales y reales en la construcción, con un espesor de 500 mm y un acabado a la vista en concreto reforzado.

Para todos los sistemas de ventanas y puerta-vidrieras que dan acceso a la zona del balcón, se especificó un único panel de vidrio transparente genérico de 3 mm de espesor con un valor  $U$  de  $2.71 \text{ W/m}^2\text{°K}$ , el cual responde a las especificaciones comerciales del vidrio instalado en las edificaciones de vivienda multifamiliar en la ciudad. De la misma manera, se prestó particular atención en la simulación de las condiciones de apertura de estas, dada la influencia que tiene la ventilación sobre los parámetros de evaluación térmica. De esta manera, se determinó la especificación de dos tipos de sistemas de puerta-vidrieras; por un lado, una de tres cuerpos, donde se tenía la posibilidad de una apertura máxima del 66% área del vano y, por otro lado, una de 2 cuerpos, la cual particularmente se ubicó en la tipología de apartamentos B, en la zona posterior del salón, la cual, por las dimensiones del vano, permitía una apertura máxima del 50%.

Particularmente en el CBT, el cual representó un modelo sin balcón, es frecuente en la práctica constructiva de estas edificaciones la utilización de un tipo de ventanería sobre la fachada de cerramiento, la cual dispone de un sillar de 1 metro de altura; pero a efectos de la investigación y en procura de evaluar los tres modelos con las mismas especificaciones, y por ende, las mismas configuraciones de operación, se determinó simular este modelo CBT con el mismo sistema de puerta-vidrieras y porcentaje de apertura que se estableció para los MOD1 y MOD2. Se determinó en cada una de las simulaciones, que los sistemas de ventanería estarían completamente abiertos durante 10 horas al día, a partir de las 8:00 hasta las 18:00 horas.

### ***Selección del periodo de estudio. Cálculo y tratamiento de datos. Semana de diseño***

Posteriormente se utilizaron los datos meteorológicos de la ciudad de Medellín como condiciones ambientales de referencia, tomados desde una estación ubicada en la zona central de la ciudad, latitud 6.27°N —longitud 75.57°W y altitud 1466, la cual era representativa de las condiciones ambientales propias de la parte baja del Valle del territorio, considerada como una de las zonas de mayor densificación futura dentro de la ciudad—.

Se determinó, a partir del archivo meteorológico obtenido, que corresponde a la medición de la temperatura y la velocidad del aire de un año climático, identificar el periodo en el cual se presenta el mayor promedio acumulado de temperatura exterior (TBS). Las simulaciones se realizaron con base en la que se denominó como Semana de diseño, la cual comprende el periodo del año donde se registró el mayor promedio de temperatura y que, como caso extremo, permitía evidenciar el comportamiento y la influencia del balcón a través de la reducción de la TMR. La Semana de diseño corresponde al periodo comprendido entre el 13 y el 20 de marzo, con un promedio de temperatura de 25.98°C y un promedio de velocidad del viento de 0,25 m/s en la semana. De la misma manera, este representaba el mayor promedio acumulado de temperatura en el año, que corresponde a la medición del día 17 de marzo, con una TBS de 27.73°C.

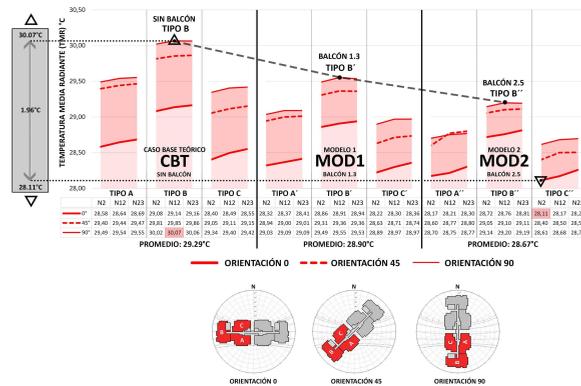
## Procesamiento de los resultados

Los resultados obtenidos a través de la simulación de cada modelo fueron extraídos del software a través de hojas de cálculo de Microsoft Excel. En total se extrajeron 4536 valores de TMR, correspondientes a la simulación de los tres modelos de análisis, los cuales se agruparon a través de las variables: (a) orientación, (b) altura del piso, y (c) tipología de apartamento; estos fueron procesados de manera lógica obteniendo los valores promedio de cada una de las variables, los cuales fueron posteriormente consignados en nuevas hojas de cálculo.

## Análisis del balcón en relación con los modelos de evaluación (CBT, MOD1, MOD2)

Figura 105

Análisis de los efectos del balcón en relación con los modelos de evaluación a través de la TMR.



Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar a través de la figura 105, existe una variación significativa en el comportamiento térmico de cada uno de los modelos analizados, y dentro de estos, en las tipologías de apartamentos que contienen. Se puede evidenciar cómo el mayor promedio de temperatura TMR corresponde al CBT (sin balcón) y el menor, al MOD2 (con balcón de 2.5 m). A través de los promedios acumulados en cada modelo de análisis, se puede evidenciar la influencia del balcón, el cual logra una reducción de la TMR en 0.79 y 2.11 % cuando se comparan los promedios del MOD2 en relación con el MOD1 y el CBT res-

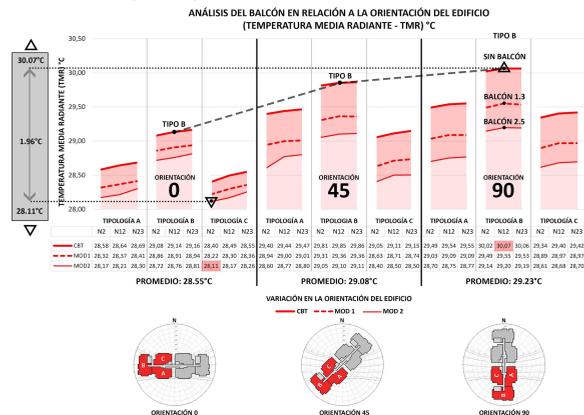
pectivamente. De la misma manera, se destaca dentro del CBT el registro de la mayor temperatura en todos los modelos analizados, la cual corresponde al apartamento tipo B orientado a 90°, con una TMR de 30.07°C. Por otro lado, en el MOD2 se encuentra la menor temperatura registrada, que corresponde al apartamento tipo C' orientado a 0°, el cual registra una TMR de 28.11°C, lo que significa 1.96°C por debajo de la mayor temperatura.

La incidencia que tiene el balcón sobre la disminución de la TMR al interior de un apartamento se puede observar particularmente en el CBT, apartamento tipo B con una orientación de 90°, en donde, al hacer una comparación respecto al tipo B' del MOD1, la temperatura se logra disminuir en 1.72 %, pasando de 30.07 a 29.55°C. De la misma manera, cuando se le compara respecto al tipo B'' del MOD2, la temperatura disminuye 2.89%, pasando de 30.07 a 29.2°C. Se puede entonces evidenciar cómo la temperatura en una misma tipología de apartamento, piso y orientación puede disminuir gradualmente cuando se adiciona un balcón abierto en su fachada.

## Análisis del balcón en relación con la orientación del edificio

Figura 106

*Análisis del balcón en relación con la orientación del edificio a través de la Temperatura Media Radiante (TMR).*



Nota: Elaboración propia.

La figura 106, puede aportar un mayor nivel de detalle en la comprensión de las afectaciones térmicas que se dan en cada modelo y cada tipología de apartamento cuando se presenta una variación en la orientación del edificio. A partir de los resultados, se puede afirmar que, el mayor promedio acumulado de TMR corresponde a la orientación  $90^\circ$ , y la menor a la orientación  $0^\circ$ , lo que se puede comprobar a través de los promedios acumulados de TMR, en donde la orientación  $90^\circ$  supera a la orientación  $45^\circ$  y  $0^\circ$  por 0.51 y 2.32 % respectivamente.

A través de los promedios de cada orientación, se pueden también evidenciar los efectos que tiene el balcón sobre la disminución de la temperatura al interior de cada tipología de apartamento. De la misma manera, se puede identificar cómo el margen de eficiencia del balcón se amplía a través del cambio de orientación del edificio cuando este tiende a estar ubicado a  $90^\circ$ . Se puede afirmar entonces, que para el caso de una edificación orientada a  $0^\circ$ , la disminución de la TMR, cuando se compara el MOD1 frente al CBT, es de 0.79 %, y cuando se compara el CBT frente al MOD2, es de 1.24 %.

De la misma manera, cuando una edificación se orienta a  $45^\circ$ , la disminución de la TMR, al compararse el MOD1 frente al CBT, es de 1.54 %, y cuando se compara el MOD2 frente al CBT, es de 2.37 %. Asimismo, cuando una edificación se orienta a  $90^\circ$ , lo que corresponde a la orientación más desfavorable debido a la alta ganancia térmica por parte de los planos de mayor área de la edificación, la disminución de la TMR, al compararse los promedios del MOD1 frente al CBT, es de 1.60 %, y cuando se compara el MOD2 frente al CBT, es de 2.69 %. Por consiguiente, se puede determinar que el margen de efectividad del balcón a efectos de la disminución de la TMR, sucede cuando el edificio tiende a una orientación de  $90^\circ$  y ser mínima respecto a una orientación de  $0^\circ$ , esto significa, llevado al campo real de la construcción, que para una edificación orientada a  $0^\circ$ , no será necesario usar balcones de mayor longitud, ya que sus efectos térmicos, no tienen la misma capacidad en la reducción de la temperatura, por lo cual esta inversión podría destinarse para una edificación orientada a  $45^\circ$  o  $90^\circ$ , en las cuales se puede afirmar que es esencial contar con buena longitud de balcón, a fin de obtener temperaturas interiores similares a la que se puede obtener dentro de un edificio orientado a  $0^\circ$ .

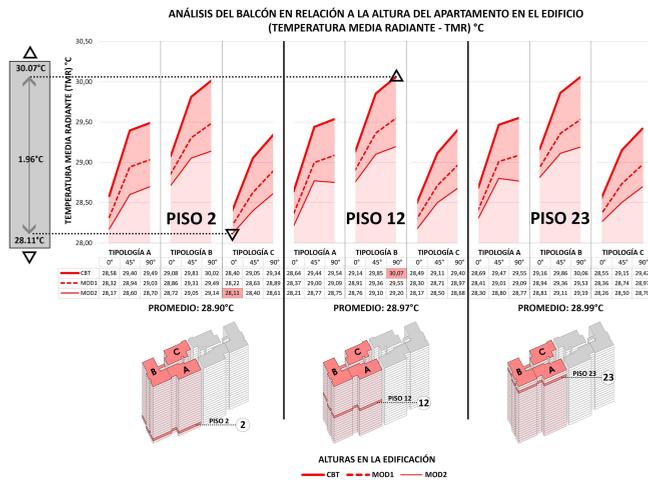
De la misma manera, se puede observar cómo el apartamento tipo B del CBT, con una orientación de  $0^\circ$ , logra obtener una temperatura semejante al aparta-

mento tipo B" del MOD2, cuando este se orienta a 90° utilizando un balcón de 2.5 m. Queda claro entonces, cómo el desempeño de un edificio orientado a 0° y sin el uso del balcón, podría ser semejante en su TMR al de un edificio orientado a 90° con un balcón de 2.5 metros en su fachada, con lo cual se puede afirmar que, el balcón de mayor longitud puede solventar las problemáticas térmicas en una edificación con una orientación a 90°.

## Análisis del balcón en relación con la altura del apartamento en la edificación

Figura 107

Análisis del balcón en relación con la orientación del edificio a través de la Temperatura Media Radiante (TMR).



Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 107, en la cual se analizan los efectos térmicos a través de la variación en la altura a la que se ubican los apartamentos en la edificación, se puede determinar que esta variable no influye significativamente en la disminución o el aumento de la temperatura en cada tipología de apartamento analizado. Los promedios de TMR en cada nivel: 28.9, 28.97 y 28.99°C en los pisos 2, 12 y 23 respectivamente, demuestran una homogeneidad térmica en el desarrollo vertical de la edificación, presentando una variación máxima de 0.31% entre los pisos 2 y 23.

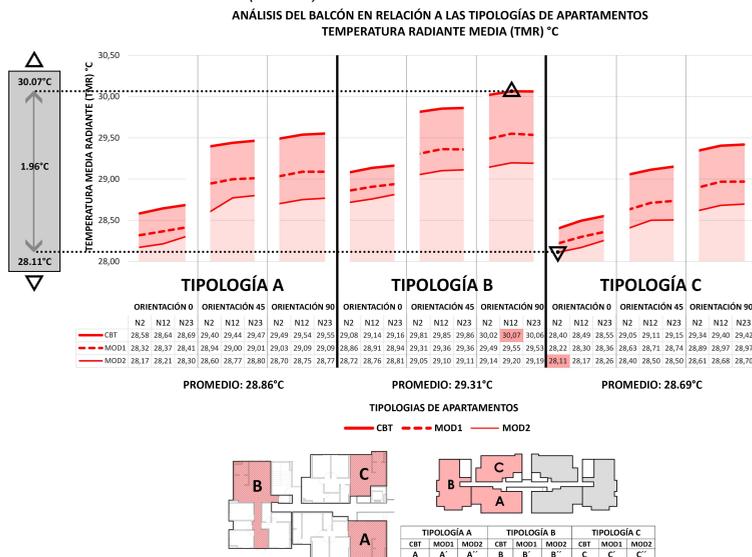
Analizando individualmente cada nivel se puede observar cómo el mayor promedio de temperatura se da en el CBT y el menor dentro del MOD2, lo que permite comprender los efectos térmicos producto de la utilización del balcón abierto en los apartamentos. De la misma manera, se puede evidenciar cómo los mayores registros dentro de cada nivel analizado se dan dentro de la tipología B, la cual alcanza, como ya se había indicado, el mayor registro de TMR en el nivel 12 del CBT con 30.07°C.

Es evidente cómo a través de este análisis se puede comprobar la poca influencia que tiene la altura en la disminución o el aumento de la TMR en cada modelo y cada tipología de apartamento; por lo tanto, se puede determinar que este factor no es relevante en la variación del comportamiento térmico de cada tipología de apartamento.

### Análisis del balcón en relación con la tipología de apartamentos

Figura 108

Análisis del balcón en relación con las tipologías de apartamentos a través de la Temperatura media radiante (TMR).



Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar a través de la figura 108, existe una variación significativa en el comportamiento térmico de cada una de las tipologías de apartamentos evaluados, en relación con los modelos de análisis y las variaciones térmicas que estos presentan.

Es claro que el mayor promedio de temperatura corresponde a la tipología B y la menor a la tipología C. Por consiguiente, a través de la evaluación de los promedios y tomando como referencia la tipología B, se puede evidenciar un aumento en la TMR de 1.54 y el 2.12% en relación con las tipologías A y C respectivamente.

Se puede evidenciar dentro de la tipología B (CBT) el registro de la mayor temperatura acumulada en todos los modelos analizados, con una TMR de 30.07°C. Por otro lado, dentro de la tipología C se encuentra la menor temperatura registrada, que corresponde al apartamento tipo C" (MOD2), con una TMR de 28.11°C, lo que significa 1.96°C de diferencia entre estos dos tipos de apartamentos.

Queda claro entonces cómo la tipología de apartamentos se convierte en una variable sumamente influyente respecto a las variaciones en la TMR de cada modelo analizado. A través de la tipología B, se pueden comprobar los efectos que tiene sobre la temperatura y la ubicación de un apartamento sobre uno de los costados del edificio, lo que implica un alto grado de exposición y transmisión del calor, a través de todos los planos que quedan directamente expuestos sin ningún tipo de protección ni sombreado, y como se puede comprobar a través de la investigación de Atem (2016), sobre esta condición influye igualmente el tipo de material y acabado de cerramiento que se utilice en el edificio. Caso contrario sucede en las tipologías internas A y C, que se protegen de la transmisión de calor a través de múltiples planos, dada la condición de protección que representa el confinamiento entre medianerías. Puede esto entonces, en el ejercicio real de formulación de proyectos de vivienda multifamiliar, representar un punto importante en la toma de decisiones respecto al tratamiento que se le deba dar a los apartamentos que se ubiquen sobre los extremos, los cuales, como se puede evidenciar en este análisis, incluso cuando la edificación se orienta a 0°, la TMR en la tipología B, sigue presentando los mayores promedios en comparación con las tipologías A y C.

## Consideraciones y conclusiones

Se espera que los resultados de esta investigación sean de utilidad para diseñadores, promotores y todos aquellos agentes que intervienen en el desarrollo y estructuración de proyectos inmobiliarios en la ciudad. Que se pueda reconocer, a partir de los resultados obtenidos, la importancia del sombreamiento en el edificio de vivienda multifamiliar y de cómo, a partir del uso del balcón, se pueden aprovechar los beneficios que su uso conlleva a través de los efectos directos en la reducción de la carga térmica, y, por ende, la reducción en la demanda energética de las edificaciones. Aunque los resultados de este estudio solo son aplicables en el clima cálido húmedo, se prevé que la metodología propuesta se pueda desarrollar en otros entornos ambientales, y que a partir de la variación y combinación de las diferentes estrategias mencionadas en el documento, se propenda a la consecución de un modelo edificatorio en el cual, a través de la implementación de medios pasivos de tratamiento climático, se logren mejores condiciones de habitabilidad, y una reducción significativa del consumo energético por efectos del acondicionamiento térmico en el edificio de vivienda multifamiliar. Reducir la incidencia de radiación solar directa, disminuye el sobrecalentamiento al interior de los edificios.

Dentro del CBT se registraron los mayores promedios de TMR en todas las tipologías de apartamentos evaluados; por el contrario, los menores promedios se registraron dentro del MOD2, el cual representa, en comparación al CBT, una reducción de 2.11 % en la TMR. Este tipo de reducción permite evidenciar los beneficios del balcón abierto en la reducción de la TMR en cada tipología de apartamento, y se puede determinar que el crecimiento unidireccional del balcón es determinante en la reducción de la temperatura al interior de los apartamentos.

Las dos variables más influyentes en la variación de la TMR son la tipología de apartamento (A, B, C) y la orientación del edificio ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ).

En la orientación  $90^\circ$  se registran los mayores promedios de TMR, lo que permite comprender los impactos que tiene la orientación del edificio y las bases teóricas que indican que la orientación ideal para una edificación, dentro del trópico, sería semejante a la orientación  $0^\circ$ . Sin embargo, dentro de las tres orientaciones analizadas, la tipología de apartamento B representó los mayores promedios de TMR, lo que se puede determinar como causa del alto nivel de

exposición de los muros de cerramiento y la ubicación del apartamento dentro de la planta típica del edificio.

La diferenciación en la altura a la que se ubica cada apartamento en el edificio no representa variaciones significativas ni relevantes en la modificación de la TMR en las tipologías analizadas. Se puede suponer dichos resultados, al tipo de simulación realizada y la desconsideración de los efectos ambientales propios de la implantación y el entorno (albedo, edificios vecinos, sombreado por edificios, etc.).

Cuando el edificio se orienta a  $0^\circ$ , el balcón no tiene implicaciones térmicas significativas, como sí las tiene en la orientación  $45^\circ$  y  $90^\circ$ , donde el margen de eficiencia se amplía. Esto significa que, a efectos prácticos, en la construcción de vivienda multifamiliar, la inversión de la construcción de balcones podría ser trasladada a aquellas edificaciones que se deban orientar a  $45^\circ$  o  $90^\circ$ , limitando el uso de estos dispositivos en las edificaciones orientadas a  $0^\circ$ .

Un balcón de 2.5 metros de longitud es capaz de mitigar los efectos térmicos que supone orientar la edificación a  $45^\circ$  o  $90^\circ$ , cuando la TMR obtenida en la orientación  $0^\circ$  en el CBT, se pueda tener como referencia.

### **Posibilidades de trabajos futuros**

El anterior trabajo presentó límites que dejan a la vista posibles desarrollos y temáticas que permitirían ampliar el espectro de la metodología y del conjunto de resultados que se pudieron obtener a partir del mismo. Las principales recomendaciones se dan a partir de aquellas inquietudes que surgen desde el análisis de los resultados y el conjunto de conclusiones determinadas, las cuales se presentan a continuación:

Dado que las simulaciones se deben considerar aproximaciones de la realidad, se deberían realizar comparaciones con estudios de casos reales que se asemejen a los distintos modelos de análisis (CBT, MOD1, MOD2), permitiendo confrontar los resultados propios de la investigación.

Realizar la inclusión del componente humano, por efectos del confort adaptativo, dentro del análisis y evaluación de los resultados.

Incorporar la variable Material a la metodología, donde además de analizar los efectos térmicos del sombreamiento y de la ventilación natural, también se permita el análisis de los efectos térmicos que conlleva la elección y variación del material de cerramiento de la edificación en el espacio interior.

Evaluar el periodo de recuperación ambiental y económica de la construcción de un balcón, dados sus posibles efectos en la reducción de la carga de enfriamiento de cada apartamento.

## Referencias

- Ai, Z., Mak, C., y Niu, J. (2011). The assessment of the performance of balconies using computational fluid dynamics. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32(3), 229-243. <https://doi.org/10.1177/0143624411404646>.
- Atem, C. (2016). *Fachadas ventiladas: hacia un diseño eficiente en Brasil* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://bit.ly/3dxFh2g>.
- Bean, R. (2013, 1 de febrero). Reader favourite from HPAC's archive: Formulas for success. *Heating Plumbing Air Conditioning Magazine*. <https://bit.ly/3ujvTGy>.
- Chan, A. (2015). Investigation on the appropriate floor level of residential building for installing balcony, from a view point of energy and environmental performance: A case study in subtropical Hong Kong. *Energy*, 85(1), 620-634. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.001>.
- Chan, A., y Chow, T. (2010). Investigation on energy performance and energy payback period of application of balcony for residential apartment in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 42(12), 2400-2405. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.08.009>.
- Chand, I., Bhargava, P., y Krishak, N. (1998). Effect of balconies on ventilation inducing aeromotive force on low-rise buildings. *Building and Environment*, 33(6), 385-396. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(97\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(97)00054-1).
- Cheung, C., Fuller, R., y Luther, M. (2005). Energy-efficient envelope design for high-rise apartments. *Energy and Buildings*, 37(1), 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.002>.
- El Dien, H., y Woloszyn, P. (2004). Prediction of the sound field into high-rise building facades due to its balcony ceiling form. *Applied Acoustics*, 65(4), 431-440. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2003.11.002>.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., y Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.

- Omrani, S., Capra, B., Garcia-Hansen, V., y Drogemuller, R. (2015). *Investigation of the effect of balconies on natural ventilation of dwellings in high-rise residential buildings in subtropical climate* [Artículo de conferencia]. Living and Learning: Research for a Better Built Environment: 49th International Conference of the Architectural Science Association, Roorkee, India. <https://bit.ly/3sKjhry>.
- Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B., y Drogemuller, R. (2017). On the effect of provision of balconies on natural ventilation and thermal comfort in high-rise residential buildings. *Building and Environment*, 123(october), 504-516. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.016>.
- Prianto, E., y Depecker, P. (2003). Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach. *Energy and Buildings*, 35(3), 273-280. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00089-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00089-0).
- Raeissi, S., y Taheri, M. (1998). Optimum overhang dimensions for energy saving. *Building and Environment*, 33(5), 293-302. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(97\)00020-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(97)00020-6).
- Rivera, C. (1980). *Architecture for the tropics. A bibliographical synthesis*. University of Puerto Rico.
- Salazar, J. (2003). *Protección solar en edificaciones: Fundamentos teóricos* [Artículo de conferencia]. VII Encuentro Nacional de Estudiantes de Arquitectura. de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín. <https://bit.ly/3cGZljs>.
- Serra, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Edotorial Gustavo Gili.
- Serra, R., y Coch, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Edicions UPC. <https://bit.ly/3dtGd7R>.
- Sosa, M., y Siem, G. (2012). *Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes*. Ediciones FAU UCV.



# Conclusiones del libro

La divulgación científica es una tarea indispensable para el desarrollo de las sociedades, los capítulos de este libro fortalecen el sentido crítico y ofrecen ideas y ampliación a otros grupos pares y público en general, en nuevos campos para el estudio de la arquitectura y el territorio en relación con la habitabilidad.

Este libro presentó ámbitos de investigación desde la mirada de la bioclimática y las teorías del confort, haciendo conexión multiescalar entre la ergonomía, los factores humanos y las acciones sobre los territorios. Esa conexión es fundamental para la arquitectura, en la medida que se sitúa en la frontera entre las personas y sus ámbitos más íntimos y los territorios que condicionan la habitabilidad de las viviendas o los lugares de trabajo.

La mayoría de los capítulos presentó la novedad de incluir a los usuarios en el núcleo de las investigaciones, para relacionarlos con características físicas y ambientales de los espacios, coincidiendo con la tendencia conceptual de la *Maestría en Bioclimática*, interesada por nuevos enfoques transdisciplinarios que estudien y comprendan fenómenos poco estudiados como la habitabilidad entendida como extensión del confort, y que obligan a otros métodos de aproximación y perspectivas no convencionales para los arquitectos e ingenieros, y que más bien, se acercan a la psicología o a la medicina, y otras áreas del conocimiento complementarias.

Las preguntas y las formas resolutivas de las investigaciones presentadas, usan metodologías mixtas que se relacionan con herramientas informáticas de reciente desarrollo, indicación de la tendencia en el apoyo informático y procesos que vinculan los *big data* en tiempo real, con sistemas de análisis de imágenes, videos, entre otros; permitiendo la inclusión de múltiples variables y procesos de validación más ágiles y con mayor campo de análisis multivariado, configuración experimental novedosa, al menos en el campo de la arquitectura. En ese sentido se destaca la inclusión de procesos paramétricos que vinculan variables con fenómenos físicos o sociales, herramienta de alto valor para observación múltiple.

Por último, se presentaron trabajos sobre fenómenos sociales y dinámicas antrópicas en el territorio, temas de alto impacto y relación con aspectos físicos y espaciales de los mismos. Reconocer los derechos y deberes de las personas y la vida ciudadana, señaló la necesidad de adelantar tareas e investigaciones que trabajen sobre lo colectivo, los límites, los planes y políticas públicas sobre el territorio.

## Lista de Figuras

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Curva de ponderación del 98.5% de supresión de melatonina según la edad y la dosis de luz. . . . .   | 55 |
| 2.  | Esquema de evaluación de deslumbramiento. . . . .  | 57 |
| 3.  | Composición geométrica del gráfico de triple desempeño. . . . .  | 59 |
| 4.  | Gráfico de triple desempeño de luz natural. . . . .  | 60 |
| 5.  | Espacio de trabajo seleccionado. . . . .   | 61 |
| 6.  | Puestos de trabajo evaluados. . . . .  | 61 |
| 7.  | Gráfico comparativo de triple desempeño lumínico - caso (CR), 25 y 55 años. . . . .  | 63 |
| 8.  | Gráfico comparativo de triple desempeño lumínico - caso (CMC), 25 y 55 años. . . . .   | 65 |
| 9.  | Conceptualización metodológica. . . . .  | 77 |
| 10. | Esquema dormitorio 1. . . . .  | 78 |
| 11. | Localización de termohigrómetro en dormitorio sujeto 1. . . . .  | 79 |
| 12. | Prueba de validación de la aplicación Sleep Better. . . . .  | 81 |
| 13. | Superposición de eficiencia del sueño, temperatura del aire y humedad relativa. . . . .  | 85 |
| 14. | Maqueta de la cúpula de Nuestra Señora de las Flores. . . . .  | 95 |
| 15. | Ensayos de cargas para la Sagrada Familia hechas por Antoni Gaudí. . . . .   | 95 |
| 16. | Izquierda: objetos de la Bauhaus. Derecha: La maqueta del edificio de la Bauhaus. . . . .  | 96 |
| 17. | Le Corbusier y sus estudios sobre maquetas. . . . .  | 97 |
| 18. | (a) Mies Van der Rohe y la casa Farnsworth. (b) Mies van der Rohe corrigiendo a un alumno en el Illinois Institute of Technology IIT, Chicago. . . . . | 97 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 19. | Izq. Maqueta estudio sobre la cama y la habitación. Énfasis en Arquitectura bioclimática. Der. Maqueta de Atmósferas taller 3. Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. . . . . | 99  |
| 20. | Maqueta proyecto final en altura, taller 7 Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. . . . .   | 99  |
| 21. | Maqueta urbana proyecto final en altura, taller 7 Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. . . . .  | 100 |
| 22. | Maqueta estudio sobre la iluminación natural. Énfasis en Arquitectura Bioclimática. Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. . . . .  | 100 |
| 23. | Artefactos Mentales. Curso de bioclimático pregrado de arquitectura. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura, Medellín.   | 101 |
| 24. | Canon de Policleto y Canon de Lisipo. . . . .  | 102 |
| 25. | Dimensiones del ser humano y el espacio necesario. . . . .   | 103 |
| 26. | El Modulor. . . . .  | 104 |
| 27. | Ubicación de asignatura de hábitat en el programa de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. . . . .  | 106 |
| 28. | Ubicación de asignatura de vivienda en el programa de Arquitectura de la Universidad de San Buenaventura Medellín. . . . .   | 107 |
| 29. | La Atmósfera. . . . .  | 108 |
| 30. | La Atmósfera en relación con la figura humana. . . . .   | 109 |
| 31. | Dibujos de los rituales del santuario y el taller en la casa. . . . .  | 110 |
| 32. | Maqueta final de la casa. . . . .  | 111 |
| 33. | Maquetas conceptuales y síntesis. . . . .  | 113 |
| 34. | Representación de concepto. . . . .  | 113 |
| 35. | Representación de concepto con la figura humana. . . . .   | 114 |
| 36. | Organización geométrica del espacio. . . . .   | 114 |
| 37. | Maquetas revisadas por los docentes en la fase de anteproyecto. . . . .  | 115 |
| 38. | Áreas generadas por el desplazamiento del cuerpo. Módulo de ergonomía, Maestría en Bioclimática. Facultad de Artes Integradas Universidad de San Buenaventura, Medellín. . . . .                                 | 117 |
| 39. | Análisis de áreas para la obtención de volúmenes de acuerdo con la actividad. . . . .  | 118 |
| 40. | Análisis de alcances y movimientos en espacios interiores. . . . .   | 118 |
| 41. | Modelos para el análisis de iluminación. . . . .   | 119 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 42. | Objetivos de Desarrollo Sostenible. . . . .  | 130 |
| 43. | Relación ODS–CEPAL–Evaluación de la sostenibilidad Hábitat. . . . .                                      | 131 |
| 44. | Objetivos y temas relacionados con la sostenibilidad en la vivienda social.132                           |     |
| 45. | Mirada tradicional – mirada actual. . . . .  | 133 |
| 46. | Atributos de la vivienda adecuada, según Hábitat III. . . . .  | 137 |
| 47. | Compromisos Hábitat III. . . . .   | 138 |
| 48. | Diferentes escalas del hábitat. . . . .  | 142 |
| 49. | Cuadro síntesis elementos principales. . . . .   | 145 |
| 50. | Objetos de estudio. . . . .  | 165 |
| 51. | Anemómetro tipo estación La Crosse Technology OW 2310. . . . .   | 166 |
| 52. | Puntos del perfil eólico. . . . .  | 167 |
| 53. | Fachada Norte 1 (N1). . . . .  | 168 |
| 54. | Fachada Norte 2 (N2). . . . .  | 168 |
| 55. | Fachada sur 1 (S1). . . . .  | 169 |
| 56. | Fachada sur 2 (S2). . . . .  | 169 |
| 57. | Microscopía avanzada comparativa N1, N2, S1, S2 a 5 000×. . . . .  | 177 |
| 58. | Temperaturas superficiales Canteras de Colombia – Barrio, Bello. Años<br>2000–2016. . . . .              | 178 |
| 59. | Diferencia de temperaturas superficiales 2.000–2.016, Canteras de Co-<br>lombia – Barrio, Bello. . . . . | 179 |
| 60. | Ilustración del efecto de abrasión eólica. . . . .   | 182 |
| 61. | Mapa de zona de estudio. . . . .   | 192 |
| 62. | Localización bloque de aulas, caso de estudio. . . . .   | 206 |
| 63. | Protecciones solares al interior de las aulas. . . . .   | 207 |
| 64. | Esquema metodología propuesta. . . . .   | 208 |
| 65. | Modelos de simulación. . . . .   | 209 |
| 66. | Criterios de calificación térmica y rangos de calificación del desempeño<br>térmico. . . . .             | 210 |
| 67. | Criterios de calificación lumínica y rangos de calificación del desempeño<br>lumínico. . . . .           | 211 |
| 68. | Esquema parámetros de variación de los componentes. . . . .  | 212 |
| 69. | Gráfico de pasos de la metodología de selección de tipologías de la nueva<br>envolvente. . . . .         | 214 |
| 70. | Gráfico de resultados térmicos de la simulación de los componentes para la<br>fachada sur. . . . .       | 215 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 71.  | Gráfico de resultados lumínicos de la simulación de los componentes para la fachada sur. . . . .      | 216 |
| 72.  | Esquema en elevación del desempeño térmico y lumínico de la fachada sur y norte. . . . .              | 217 |
| 73.  | Imagen tridimensional nueva envolvente fachada sur (a) y norte (b). . .                               | 218 |
| 74.  | Gráfico de resultados de simulación térmica de la nueva envolvente. . .                               | 218 |
| 75.  | Gráfico de resultados de simulación Lumínica UDI 0–300 de la nueva envolvente. . . . .                | 219 |
| 76.  | Condiciones de confort basadas en el diagrama de Víctor Olgyay. . . .                                 | 230 |
| 77.  | Planta del aula. . . . .  | 233 |
| 78.  | Corte del aula. . . . .   | 233 |
| 79.  | Vista interior del aula. . . . .  | 234 |
| 80.  | Fachada hacia el patio. . . . .   | 234 |
| 81.  | Momento de la encuesta. . . . .   | 235 |
| 82.  | Fachada hacia el corredor. . . . .  | 236 |
| 83.  | Datos de ingreso modelo analítico. . . . .  | 237 |
| 84.  | Datos de ingreso modelo adaptativo. . . . .   | 237 |
| 85.  | Fachada principal. . . . .  | 239 |
| 86.  | Fachada hacia el corredor. . . . .  | 239 |
| 87.  | Temperatura al exterior del colegio. . . . .  | 241 |
| 88.  | Humedad relativa al exterior del colegio. . . . .   | 242 |
| 89.  | Temperatura y humedad relativa al interior del aula. . . . .  | 243 |
| 90.  | Modelo adaptativo. . . . .  | 244 |
| 91.  | Modelo analítico. . . . .   | 244 |
| 92.  | Promedio de temperatura en las variaciones de la envolvente. . . . .                                  | 245 |
| 93.  | Comparación dimensión de aberturas. . . . .   | 246 |
| 94.  | Comparación masa vs sombreado en fachada. . . . .   | 246 |
| 95.  | Comparación materialidad envolvente. . . . .  | 247 |
| 96.  | PMV en las alternativas simuladas. . . . .  | 248 |
| 97.  | Localización geográfica de la ciudad de Medellín. . . . .   | 258 |
| 98.  | Ganancias térmicas en una edificación. . . . .  | 260 |
| 99.  | Selección y análisis de la tipología de la edificación de vivienda multifamiliar en Medellín. . . . . | 264 |
| 100. | Planta típica de seis apartamentos por nivel – Selección de tipologías de análisis A, B y C. . . . .  | 265 |

|   |     |
|---|-----|
| 101. Representación del análisis ambiental en los pisos 2, 12 y 23. . . . .   | 266 |
| 102. Área de evaluación determinada para cada tipología de apartamento. . .   | 266 |
| 103. Modelos de análisis y de comparación. . . . .  | 267 |
| 104. Tres tipos de orientaciones para la evaluación térmica de los modelos<br>de análisis. . . . .                                  | 268 |
| 105. Análisis de los efectos del balcón en relación con los modelos de eva-<br>luación a través de la TMR. . . . .                  | 272 |
| 106. Análisis del balcón en relación con la orientación del edificio a través<br>de la Temperatura Media Radiante (TMR). . . . .    | 273 |
| 107. Análisis del balcón en relación con la orientación del edificio a través<br>de la Temperatura Media Radiante (TMR). . . . .    | 275 |
| 108. Análisis del balcón en relación con las tipologías de apartamentos a<br>través de la Temperatura media radiante (TMR). . . . . | 276 |

## Lista de Tablas

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 1.  | Aplicación de los métodos para determinar las condiciones térmicas aceptables en ambientes ocupados. . . . .   | 18  |
| 2.  | Valores de deslumbramiento según métrica DGP. . . . .  | 57  |
| 3.  | Rangos de evaluación de desempeño según suficiencia lumínica (UDI), Probabilidad de deslumbramiento (DGP), Efectos no visuales en la salud (DA). . . . . | 58  |
| 4.  | Propiedades ópticas de los materiales. . . . .   | 62  |
| 5.  | Resultados de la evaluación de desempeño a partir de UDI, DGP, DA en los casos CR/CMC. . . . .   | 64  |
| 6.  | Datos resultantes de las mediciones. . . . .   | 82  |
| 7.  | Indicadores estadísticos descriptivos de las variables. . . . .  | 82  |
| 8.  | Pruebas de normalidad de las variables. . . . .  | 83  |
| 9.  | Correlación paramétrica. . . . .   | 83  |
| 10. | Pruebas de normalidad de las variables promediadas. . . . .  | 84  |
| 11. | Correlación no paramétrica. . . . .  | 84  |
| 12. | Análisis comparado de los talleres de arquitectura que trabajan el tema de lo doméstico y su relación con la tridimensionalidad. . . . .                 | 116 |
| 13. | Conceptos asociados a la arquitectura sostenible. . . . .  | 135 |
| 14. | Conceptos asociados a la arquitectura sostenible. . . . .  | 139 |
| 15. | Resumen criterios de sostenibilidad por metodologías de carácter internacional en la escala Macro-Territorio. . . . .                                    | 143 |
| 16. | Resumen criterios de sostenibilidad por metodologías de carácter internacional. . . . .  | 147 |
| 17. | Resumen criterios de sostenibilidad en la arquitectura de carácter internacional. . . . .  | 150 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 18. | Resumen criterios de sostenibilidad en la arquitectura de carácter internacional. . . . . | 153 |
| 19. | Características básicas de la isla de calor superficial y atmosférico. . . .              | 170 |
| 20. | Características básicas de los sensores remotos tipo LANDSAT. . . . .                     | 171 |
| 21. | Resolución de la longitud de onda de satélites LANDSAT 5 y 7. . . . .                     | 172 |
| 22. | Constantes de calibración de la banda térmica para LANDSAT 7. . . . .                     | 174 |
| 23. | Parámetros LANDSAT 7. . . . .   | 174 |
| 24. | Dirección y velocidades de los vientos predominantes. . . . .                             | 176 |
| 25. | Equipos para el componente objetivo de la AAPU. . . . .                                   | 236 |
| 26. | Alternativas de diseño basadas en la envolvente. . . . .                                  | 240 |
| 27. | Alternativas de diseño basadas en dimensión de aberturas. . . . .                         | 240 |
| 28. | Votos de Sensación Térmica. . . . .   | 242 |
| 29. | Cronología de estudios sobre el balcón. . . . .   | 263 |



Universidad de San Buenaventura  
Coordinación Editorial Medellín  
San Benito, Carrera 56C N° 51-110, Medellín, Antioquia  
Tipografía: Iwona  
Colombia  
2021



# Colección Señales

Experiencias esenciales sobre el hábitat contemporáneo, pretexto para escribir acerca de problemas actuales y que tienen que ver sobre cómo viven las personas, sus derechos y deberes para con los demás, el medio ambiente y el futuro, todas visiones complejas de sumo interés para la sociedad contemporánea y cercanas a agendas públicas que tratan sobre el cambio climático, la equidad de género o la reivindicación de los derechos de las minorías, los jóvenes o el agua.

Asimismo, esta publicación es importante para reconocer la vulnerabilidad de la sociedad contemporánea, frágil en el desarrollo de sus perspectivas a futuro por la amenaza real al medio ambiente, a la salud pública y a la convivencia en un planeta que parece no soportar la presión civilizadora de una humanidad inconsciente. Esto sumado al prominente uso de los medios de comunicación y las redes sociales, transmisores de nuevas formas de relación entre las personas y de estas con el mundo en el que habitan. Todo este panorama configura un campo de acción novedoso y retador para investigadores y académicos de la primera parte del siglo XXI. La pandemia y el confinamiento del 2020 apoyan esas hipótesis de la reinención de la vida, la virtualidad y las restricciones a la interacción social, que generan crisis en la expresión cotidiana del contacto y la cohabitación de los cuerpos.

Se presenta un texto escrito en tiempos convulsos de mucha incertidumbre y planteamiento de nuevos retos, pero, aun así, todos los capítulos se afirman en la certeza de un futuro posible para el ser humano, el hábitat y el ambiente.



UNIVERSIDAD DE  
SAN BUENAVENTURA



**EB**  
**EDITORIAL**  
**BONAVENTURIANA**  
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA