

CAMBIO CLIMÁTICO Y CONFORT TÉRMICO EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL COLOMBIANA

Recibido 16/10/2022
Aceptado 07/06/2023

CLIMATE CHANGE AND THERMAL COMFORT IN COLOMBIAN SOCIAL HOUSING

MUDANÇA CLIMÁTICA E CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES SOCIAIS COLOMBIANAS

Luisa Fernanda Callejas-Ochoa

Facultad Artes Integradas
Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia
<https://orcid.org/0000-0003-1967-2707>
luisa.callejas@tau.usbmed.edu.co

Manuela Marín-Echeverri

Facultad de Arquitectura
Universidad de Santo Tomás, Medellín, Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-8452-145X>
manuela.marin@ustamed.edu.co

Michel Steven Puerta-Sepúlveda

Facultad Artes Integradas
Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-8264-5464>
maico.puerta02@gmail.com

Valentina Arroyave-Molina

Facultad Artes Integradas
Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia
<https://orcid.org/0000-0003-0854-8815>
valarroyavemolina@gmail.com

Monique Silva Neves

Escola de Designo
Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil
<https://orcid.org/0000-0002-7961-6929>
monique.0152606@discente.uemg.br



RESUMEN

El cambio climático es una de las problemáticas más relevantes del siglo XXI a nivel mundial y, a pesar del desarrollo de estrategias que buscan minimizar sus consecuencias, es una realidad irreversible. Por consiguiente, es pertinente analizar su impacto sobre la arquitectura colombiana, específicamente en la Vivienda de Interés Social (VIS), tipo de edificación que más se construye en el país. El objetivo de esta investigación fue conocer el desempeño térmico de la VIS actual, en relación con el cambio climático, a partir de un modelo tipo para las ciudades más pobladas de Colombia Bogotá, Medellín y Cali. Dicho modelo se realizó a través de simulaciones computacionales en tres escenarios futuros (2030/2050/2080), los que permitieron diagnosticar cómo el cambio climático tendrá efecto en el confort térmico de sus ocupantes. Dentro de los resultados se demuestra que, del total de los escenarios evaluados (576), tan sólo el 18,9% se encuentra en un rango aceptable de tiempo en confort térmico (>70%). Esto que indica que la mayor parte de la VIS actualmente construida en Colombia no brinda condiciones de confort térmico tanto en un escenario de cambio climático como en el escenario actual, pues en ambas situaciones los casos favorables representan un bajo porcentaje respecto del total de los casos evaluados.

Palabras clave

cambio climático, viviendas de interés social, confort térmico.

ABSTRACT

Climate change is globally one of the most relevant problems of the 21st century and despite strategies that seek to minimize its consequences, it is an irreversible reality. Therefore, it is pertinent to analyze its impact on Colombian architecture, specifically on Social Housing (SH), the type of building most frequently built in the country. The purpose of this research was to get to know the thermal performance of current SH, in relation to climate change, based on a standard model for the most populated cities in Colombia, namely Bogotá, Medellín, and Cali. This model was made using computer simulations in three future scenarios (2030/2050/2080), which allowed diagnosing how climate change will affect the thermal comfort of the occupants. The results show that, of the total number of scenarios evaluated (576), only 18.9% are in an acceptable range of time in thermal comfort (>70%). This indicates that most of the SH currently built in Colombia do not provide thermal comfort conditions either under a climate change scenario or in the current scenario, since in both situations the favorable cases represent a low percentage with respect to the total number of cases evaluated.

Keywords

climate change, social housing, thermal comfort.

RESUMO

As mudanças climáticas são uma das questões mais relevantes do século XXI em nível global e, apesar do desenvolvimento de estratégias para minimizar suas consequências, é uma realidade irreversível. Portanto, é pertinente analisar seu impacto na arquitetura colombiana, especificamente na Habitação de Interesse Social (HIS), o tipo de construção mais comum no país. O objetivo desta pesquisa foi conhecer o desempenho térmico da HIS atual em relação às mudanças climáticas, com base em um modelo padrão para as cidades mais populosas da Colômbia: Bogotá, Medellín e Cali. Esse modelo foi criado por meio de simulações computacionais em três cenários futuros (2030/2050/2080), que permitiram diagnosticar como as mudanças climáticas afetarão o conforto térmico dos ocupantes. Os resultados mostram que, dos cenários avaliados (576) apenas 18,9% estão em uma faixa aceitável de conforto térmico (>70%). Isso indica que a maior parte da HIS atualmente construída na Colômbia não oferece condições de conforto térmico tanto em um cenário de mudanças climáticas quanto no cenário atual, pois em ambas as situações os casos favoráveis representam uma porcentagem baixa em relação ao total de casos avaliados.

Palavras-chave

mudanças climáticas, habitação de interesse social, conforto térmico.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una de las problemáticas ambientales más relevantes del siglo XXI a nivel mundial. Es hoy el objetivo número 13 para el desarrollo sostenible propuesto por las Naciones Unidas y, a pesar del desarrollo de estrategias que buscan combatirlo y minimizar sus consecuencias, es una realidad irreversible (IPCC, 2007). En el caso específico de Colombia, los fenómenos como El Niño y La Niña son un ejemplo típico de cómo la variabilidad climática interanual ha ido cambiando (Pabón & Montealegre, 2017). Por esta razón, es importante analizar su impacto sobre la arquitectura colombiana, específicamente en la Vivienda de Interés Social (en adelante, VIS) y reflexionar acerca de su capacidad de resiliencia, ya que su construcción comprende uno de los índices más altos del país.

Colombia se encuentra ubicada sobre la línea ecuatorial en la zona tropical de Sudamérica, por lo que recibe un alto aporte de radiación solar anual. Esta ubicación específica conlleva a que su clima esté determinado por su topografía, es decir, que los cambios meteorológicos fluctúan según la posición geográfica de las ciudades (IDEAM & UNAL, 2018). Debido a esta particularidad, el país no puede categorizarse dentro de un solo clima específico, por lo que en ocasiones no resultan evidentes las consecuencias que el cambio climático ocasiona en el territorio nacional. Frente a esta situación, Pabón (2012) argumenta que la expresión contundente del calentamiento global y del cambio climático en el territorio colombiano es la reducción del área de los glaciares de montaña y las tendencias de incremento del nivel medio del mar en las costas colombianas. Por este motivo, la arquitectura colombiana debería considerar un proceso de adaptación que priorice las dinámicas ambientales actuales y futuras del país.

Colombia viene presentando desde mediados del siglo XX un patrón claro de crecimiento en los centros urbanos, en cuanto a que las capitales del país superan el 90% del nivel de urbanización, mientras que las ciudades de menor tamaño presentan un crecimiento mucho mayor frente a la ruralidad (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2021b). Lo anterior evidencia la necesidad de empezar a evaluar cuáles son los criterios que se tienen en cuenta, en la actualidad, para el diseño de edificaciones.

Según el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, la operación y construcción de edificios producen el 38% de todas las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía, por lo que estas deben reducirse a la mitad para el año 2030 si se desea encaminar al sector de la construcción hacia la neutralidad climática en 2050 (IPCC, 2020).

Dentro de las estrategias planteadas en estudios existentes a nivel internacional para enfrentar el cambio climático, se destacan dos posibilidades, por una parte, Aleksić et al. (2016) proponen “mitigación y adaptación”, ambas aplicables desde cualquier sector de la sociedad. Según los autores, desde el punto de vista arquitectónico, la mitigación se aborda desde la creación de edificios eficientes energéticamente, a través del uso de energías renovables y una adecuada selección de materiales, mientras que la adaptación al cambio climático busca construir edificaciones eficientes energéticamente y además adaptadas a las condiciones naturales de su contexto. Así pues, se plantea que la atención hasta ahora en el campo arquitectónico se ha centrado en medidas de mitigación, lo que ha generado que la prioridad no sea la implementación de estrategias que ayuden a que las construcciones existentes sean resilientes a su entorno.

Teniendo en cuenta esto, los autores exponen varios ejemplos de viviendas resilientes a condiciones climáticas extremas como huracanes, inundaciones o terrenos inestables, las cuales, por medio de su adaptabilidad, resisten a estas situaciones. Al analizar esto en el contexto colombiano, se ratifica la necesidad de plantear viviendas y espacios resilientes a las condiciones climáticas del contexto y de esta forma, además de prever la respuesta a adversidades climáticas, se puede contribuir a la mejora de la calidad de vida de las personas, pues como expone Eckardt (2011) “la resiliencia posibilita la condición de convivencia de las comunidades con las condiciones de riesgo de un determinado territorio.”

Asimismo, dentro del proceso de adaptación al cambio climático se ha demostrado también la relevancia que ejerce el confort térmico en la salud de las personas y esto sucede por la gran cantidad de tiempo que se pasa en espacios cerrados. Gamble et al. (2009) exponen que una persona puede pasar más del 90% de su vida en un edificio, lo que demuestra la incidencia que el diseño de este tiene sobre su salud. Por este motivo, la explicación de Soto-Estrada et al. (2016) y Januszkiewicz (2017) resulta relevante en este punto, ya que, a pesar de investigar en lugares del mundo aislados, Colombia y Polonia coinciden en la importancia que tiene el diseño de la envolvente en una construcción.

En sus estudios ambos mencionan que las edificaciones resilientes, además de generar espacios confortables térmicamente, ayudan a que la salud física y mental de las personas no se vea perjudicada, ratificando la relación directa que existe entre arquitectura, salud y cambio climático. Así pues, los dos estudios demuestran que el tipo de arquitectura que se desarrolla actualmente, en los dos contextos analizados, no responde a su entorno inmediato y con ello se concluye que la arquitectura en la que habitamos no es resiliente al cambio climático. Entendiéndolo de esta manera, es trascendental empezar

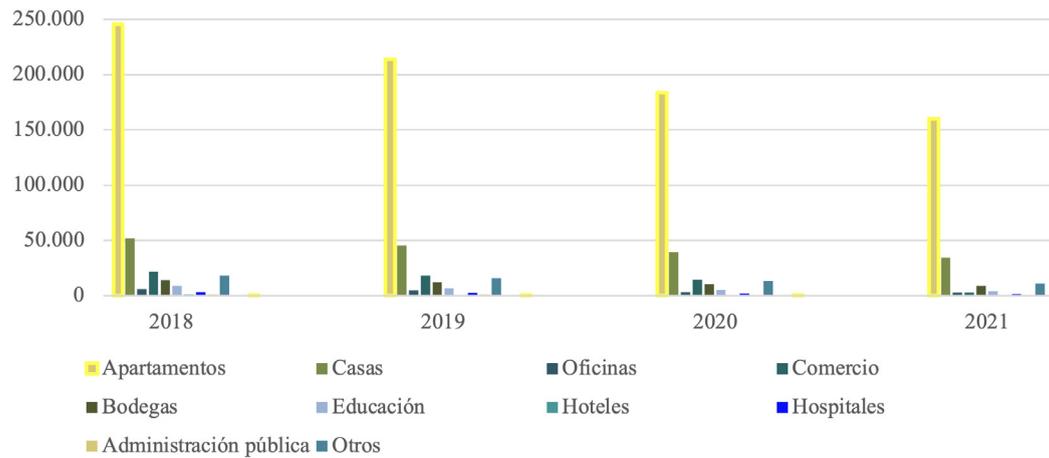


Figura 1: Promedio anual del área nueva por destinos, períodos 2018-2021. Fuente: Elaboración de los autores a partir del Censo de Edificaciones (CEED)

a desarrollar viviendas que desde su diseño garanticen a sus ocupantes bienestar tanto para el momento de ser concebidos, como también para escenarios futuros.

Adicionalmente, desde el punto de vista urbano, también se ha empezado a hablar sobre la importancia de la resiliencia con respecto al cambio climático y su relación con la sostenibilidad. Alabsi et al. (2021) mencionan que la adaptación climática es uno de los criterios más relevantes para la sostenibilidad y da como ejemplo ciudades en Asia en donde han logrado encontrar una armonía entre arquitectura y medio ambiente en función de la experiencia y la cultura de la comunidad local. Asimismo, Gifreu (2018) se atreve a repensar la definición del desarrollo sostenible, exponiendo que este debe ser “puntual para prevenir y mitigar los efectos del cambio climático”.

De esta manera, es fundamental entender que el cambio climático es un hecho, así como también lo es la necesidad de indagar sobre medidas no solo de mitigación, sino también de adaptación a este, pues el panorama descrito reafirma la necesidad de consolidar edificaciones resilientes a las condiciones climáticas que se avecinan.

Teniendo en cuenta esto, se planteó como objetivo principal de la presente investigación estudiar el comportamiento térmico frente al cambio climático de las VIS ubicadas en las tres ciudades más pobladas de Colombia: Bogotá, Medellín y Cali, por medio de simulaciones computacionales para observar su conducta en tres escenarios futuros (2030/2050/2080).

LA VIVIENDA EN COLOMBIA

Durante los cuatro años comprendidos entre el 2018 y 2021, la vivienda multifamiliar fue el tipo de construcción que mayor área nueva representó en Colombia, sumando el 68% promedio del área nueva construida según un

estudio del año 2021 realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2021a), y cuyos datos se pueden observar en la Figura 1. Esta fue la razón principal por la cual la presente investigación se centró en la vivienda multifamiliar colombiana, pues al ser la más representativa, puede llevar a un mayor impacto social. Asimismo, dentro del documento citado, es la VIS la que mayor área representó en el sector de la vivienda multifamiliar, acotando nuestro caso de estudio.

La VIS en Colombia es definida por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio (2020) como “aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción y que cuyo valor máximo es de ciento cincuenta salarios mínimos legales mensuales vigentes (150 SMLMV)”.

Para el año 2021, la VIS se ha convertido en una de las principales estrategias para brindarle un hogar a las familias colombianas. Sin embargo, estas viviendas no se construyen teniendo en cuenta las condiciones medioambientales ni los parámetros de sostenibilidad que garanticen el bajo consumo energético.

Giraldo & Herrera (2017) y Giraldo et al. (2015) exponen que en la VIS en Colombia no se implementan estrategias de climatización pasivas, sino que se suelen usar sistemas de ventilación mecánicos para ayudar a mejorar la sensación de confort interno del edificio, lo cual genera un mayor consumo de energía. Según lo anterior, las VIS en Colombia no son diseñadas para afrontar las condiciones climáticas actuales ni futuras de su contexto sin el uso de estrategias activas que ayuden a mejorar las condiciones de confort. Giraldo & Herrera (2017) argumenta que se desconoce el manejo científico del confort a través de estrategias pasivas en el momento de diseñar estas viviendas, lo que, en consecuencia, genera un desarrollo de edificios descontextualizados que no garantizan el bienestar de sus habitantes.



Figura 2: Resumen gráfico de la metodología implementada para la investigación. Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 1: Humedad relativa y temperatura promedio para las ciudades evaluadas. Escenario actual y escenarios futuros. Fuente: Elaboración de los autores.

Ciudad	Año	Temperatura* promedio(°C)	Humedad relativa (%)	Temperatura* promedio día más frío (°C)	Temperatura* promedio día más caluroso (°C)	Rango de temperatura* en confort (ASHRAE 55, Confort 90)
Bogotá	Actual	13,2	81,7	11,9	13,8	24,4 - 19,4
	2030	14,4	80,8	12,3	15,6	24,8 - 19,8
	2050	15	80,6	12,6	16,6	25 - 20
	2080	16,3	80,4	14,1	17,3	25,4 - 20,4
Datos tomados de la estación meteorológica Bogotá/Eldorado, Latitud: 4,717° Longitud: -74,15°, Altitud: 2548 msnm						
Medellín	Actual	21,8	70,8	21,4	26,3	27,1 - 22,1
	2030	22,1	77,2	22,7	26,2	27,2 - 22,2
	2050	22,6	77,3	23	26,4	27,3 - 22,3
	2080	23,8	77,4	23	26,9	27,7 - 22,7
Datos tomados de la estación meteorológica Medellín/Olaya Herrera, Latitud: 6.217° Longitud: -75.6°, Altitud: 1499 msnm						
Cali	Actual	23,4	76,3	21,8	25,6	27,6 - 22,6
	2030	24,8	74,9	22,3	28,4	28 - 23
	2050	25,3	74,9	23,1	28,8	28,1 - 23,1
	2080	26,4	75,1	24,2	29	28,5 - 23,5

Datos tomados de la estación meteorológica Cali CO, Latitud: 3.4°, Longitud: -76.5°, Altitud: 944 msnm

*Temperatura de bulbo seco

METODOLOGÍA

La presente investigación implementó una metodología de tipo experimental y cuantitativa que permitió diagnosticar la capacidad de adaptación al cambio climático de las VIS en Colombia. La metodología incluyó tres etapas: una primera etapa de delimitación del caso de estudio y definición de las viviendas tipo a evaluar.

Una segunda, en la que se llevaron a cabo simulaciones computacionales de desempeño térmico para las viviendas tipo en las tres ciudades seleccionadas (Bogotá, Medellín y Cali), teniendo en cuenta las proyecciones climáticas futuras (2030/2050/2080). Por último, una tercera etapa que incluyó el procesamiento de resultados obtenidos y análisis comparativos, considerando la relación entre tiempo y lugar.

Tabla 2: Patrones de ocupación e iluminación artificial. Fuente: Elaboración de los autores

Horario	Patrones de ocupación		Patrones de iluminación artificial (DPI) (5w/m2)	
	Habitaciones (%)	Sala/Cocina (%)	Habitaciones (%)	Sala/Cocina (%)
00:00 - 00:59	100	0	0	0
01:00 - 01:59	100	0	0	0
02:00 - 02:59	100	0	0	0
03:00 - 03:59	100	0	0	0
04:00 - 04:59	100	0	0	0
05:00 - 05:59	100	0	0	0
06:00 - 06:59	100	0	100	0
07:00 - 07:59	100	0	100	0
08:00 - 08:59	0	0	0	0
09:00 - 09:59	0	0	0	0
10:00 - 10:59	0	0	0	0
11:00 - 11:59	0	0	0	0
12:00 - 12:59	0	0	0	0
13:00 - 13:59	0	0	0	0
14:00 - 14:59	0	50	0	0
15:00 - 15:59	0	50	0	0
16:00 - 16:59	0	50	0	100
17:00 - 17:59	0	50	0	100
18:00 - 18:59	0	100	0	100
19:00 - 19:59	0	100	0	100
20:00 - 20:59	0	100	0	100
21:00 - 21:59	0	100	0	100
22:00 - 22:59	100	0	100	0
23:00 - 23:59	100	0	100	0

En la Figura 2 se esquematiza y describe detalladamente el proceso metodológico de la investigación.

Para la delimitación del caso de estudio, se consideró las VIS ubicadas en las tres ciudades más pobladas del país, las cuales, de acuerdo con el último censo de población y vivienda del año 2018, son Bogotá, Medellín, y Cali (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018). Luego, se identificó el rango del valor comercial definido para la VIS en el país, el cual para el año 2022 oscila entre los \$17.746,7 US (70 SMLMV) hasta los \$34.225,7 US (150 SMLMV).

Posterior a la definición del rango y ubicación, se procedió con una recolección de datos de la oferta comercial actual del sector inmobiliario a través de búsqueda en sitios web, con la intención de determinar un modelo de vivienda tipificado en cada una de las ciudades a estudiar. En esta fase se consideraron 20 proyectos de VIS multifamiliar

recientemente terminados o en construcción. De estos, se identificaron ocho aspectos de las tipologías de vivienda evaluadas: área de apartamento, número de habitaciones, número de fachadas expuestas, inclusión de balcón, cantidad de ventanas por habitación, zona social y cocina, y altura total del edificio.

Una vez establecida cada vivienda tipo, se llevaron a cabo simulaciones computacionales de desempeño térmico en el programa Rhinoceros 3D con el plug-in ClimateStudio, el cual se soporta en el motor de cálculo EnergyPlus para sus simulaciones de desempeño térmico (Solemnia, 2020). Este permite realizar simulaciones de eficiencia energética, acceso de luz natural, desempeño de luz artificial y aspectos de confort térmico y visual.

Para el desarrollo de las simulaciones, se tomaron archivos climáticos de las estaciones meteorológicas principales para cada una de las ciudades seleccionadas.

Tabla 3: Tasa metabólica y cargas internas establecidas por ciudad. Fuente: Elaboración de los autores.

Apartamento tipo - Bogotá						
Espacio	Área (m2)	Cant. de personas	Personas/m2	Tasa metabólica	Equipos (kW)	
Cocina / Sala	15,8	4	0,25	1,8	7,59	
Habitación principal	8,25	2	0,24	0,7	n/a	
Habitación 1	4,97	1	0,2	0,7	n/a	
Habitación 2	6,61	1	0,15	0,7	n/a	
Apartamento tipo - Medellín						
Cocina / Sala	18,03	4	0,22	1,8	6,66	
Habitación principal	12,08	2	0,17	0,7	n/a	
Habitación 1	5,96	1	0,17	0,7	n/a	
Habitación 2	5,96	1	0,17	0,7	n/a	
Apartamento tipo - Cali						
Cocina / Sala	17,92	4	0,22	1,8	6,7	
Habitación principal	9,52	2	0,21	0,7	n/a	
Habitación 1	4,95	1	0,2	0,7	n/a	
Habitación 2	6,17	1	0,16	0,7	n/a	

Posteriormente, estos archivos fueron procesados por medio del software de proyección climática Meteorm, para así generar archivos climáticos en tres escenarios futuros (2030/2050/2080). En la Tabla 1 se presentan los datos climáticos más relevantes de las ciudades evaluadas para el escenario actual y los futuros.

Junto con el análisis de los datos climáticos, se llevaron a cabo cuatro simulaciones anuales (actual, 2030, 2050 y 2080) para los espacios mayormente ocupados de la vivienda tipo de cada ciudad y variando en estas la orientación de su fachada principal. Los resultados arrojaron como dato más relevante la temperatura operativa horaria en un período de tiempo determinado, de acuerdo con el uso de los espacios evaluados. Adicionalmente, se consideró la variable de ubicación de la vivienda en relación con el edificio, por lo que se simuló tres situaciones por cada vivienda tipo: el primero ubicado en el primer nivel, el segundo ubicado en un nivel intermedio y el tercero ubicado en el nivel superior.

Para la definición de horarios de ocupación, patrones de iluminación artificial, cantidad de personas y carga térmica de equipos, se tuvo en cuenta la normativa establecida por la Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), (2013), quienes manejan estándares claros y coherentes con la realidad colombiana (Tabla 2). Con respecto a la tasa metabólica, se trabajó con las cifras determinadas por el CBE thermal comfort tool, que maneja estándares específicos para cada actividad (Tabla 3). Para la ventilación natural, al ser un espacio en régimen pasivo,

esta se considera que se dé a través de las aberturas, a las cuales se les asignó una temperatura de operatividad, porcentaje de apertura y horario determinados (Tabla 4).

Por otra parte, desde hace un buen tiempo, se han creado escenarios de proyección del cambio climático como herramienta para la investigación y evaluación del impacto y mitigación del cambio climático. Estos son definidos como “[...] alternativas con base en supuestos, de cómo evolucionará el mundo, por lo que no son pronósticos, ya que no se les asocian probabilidades” (Escoto et al., 2017) y son publicados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC).

El objetivo principal de estos escenarios es facilitar la investigación y evaluación del cambio climático, reduciendo el rango de incertidumbre en los esfuerzos que se hacen para su mitigación y adaptación (O’Neill et al., 2014). Es por esto que autores como Kebede et al. (2018) y O’Neill et al. (2014) recomiendan a la comunidad científica que considere un conjunto de escenarios comunes.

No obstante lo anterior, para la presente investigación solo fue posible generar el escenario A2 de los escenarios SRES para los archivos climáticos considerados, el cual representa uno de los escenarios menos optimista de este conjunto. De acuerdo con lo planteado en la literatura académica, este escenario resulta equivalente a un punto medio entre los escenarios RCP 6 y 8.5 (Pereira Ruchansky, 2019). Por su parte, en relación con el acumulado total de emisiones de CO2 entre 1990 y 2100 para diferentes

Tabla 4: Temperatura, porcentaje y horario de habilitación para de apertura de ventana. Fuente: Elaboración de los autores.

Ciudad	Año	Temperatura operativa que habilita la apertura de ventana	Procentaje de apertura efectiva de ventana	Horario habilitado para operación de ventana
Bogotá	Actual	21,9		
	2030	22,3		
	2050	22,5		
	2080	22,9		
Medellín	Actual	24,6	50% (sistema de apertura corrediza)	Horario de ocupación determinado para cada espacio. Ver Tabla X
	2030	24,7		
	2050	24,8		
	2080	25,2		
Cali	Actual	25,1		
	2030	25,5		
	2050	25,6		
	2080	26		
Infiltraciones consideradas		Tasa de renovación por infiltración: 0,5 cambios de aire por hora		

Tabla 5. Características de escenarios SRES. Fuente: Elaboración de los autores con base en la traducción y adaptación de Quante & Bjørnæs (2016) hecha por Pereira Ruchansky (2019)

Escenario	Descripción
A1	Crecimiento económico mundial muy rápido, alcanzando la población mundial máxima hacia mediados de siglo, desarrollo alternativo de tecnologías de energía. Se divide en tres grupos, que reflejan alternativas de cambio tecnológico: intensiva en combustibles fósiles (A1FI), energías de origen no fósil (A1T), y equilibrio entre las distintas fuentes (A1B)
A2	Mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento
B1	Escenario con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información.
B2	Mundo con población y crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental

grupos escenarios, se establece que el escenario A2 podría estar cercano al SSP3 y el SSP4 (Pedersen et al., 2021). El escenario considerado se describe en la Tabla 5.

A continuación, se analizaron los resultados obtenidos de las simulaciones descritas, considerando el estándar ASHRAE 55:2020 de confort adaptativo para edificios naturalmente ventilados. Esto permitió identificar el nivel de confort térmico para cada uno de los espacios evaluados en las viviendas a partir de la determinación del porcentaje de tiempo en confort establecido por dicho estándar.

Para evaluar el desempeño térmico se han creado múltiples estándares y normas a nivel mundial como, por ejemplo, el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), la norma ISO 7730:2005, ASHRAE 55:2020 y la norma UNE-EN 16798-1:2020. Sin embargo, dentro de la normativa colombiana no se cuenta con un estándar propio que permita evaluar de manera objetiva el confort.

Esta investigación consideró el estándar ASHRAE 55:2020 para el procesamiento de datos, pues ha sido ampliamente citado en normativas relacionadas

Tabla 6. Características constructivas de la vivienda tipo para cada ciudad. Fuente: Elaboración de los autores.

Ciudad/característica	Cali	Medellín	Bogotá
Área (m ² - por rangos)	50m ² - 60m ²	50m ² - 60m ²	50m ² - 60m ²
Número de habitaciones	2 habitaciones	3 habitaciones	2 habitaciones
Fachadas expuestas	1 fachada expuesta	1 fachada expuesta	1 fachada expuesta
Existencia de balcón	Con balcón	Con balcón	Sin balcón
Ventanas habitaciones	1 ventana	1 ventana	1 ventana
Ventanas cocina	sin ventanas	1 ventana	1 ventana
Ventanas por zona social	1 ventana	1 ventana	1 ventana
Número de pisos	8 pisos	23 pisos	12 pisos
Altura libre interior	2,24m	2,20m	2,30m
Acabado de piso interior	Concreto a la vista (sin mortero de nivelación)	Concreto a la vista (con mortero de nivelación)	Concreto a la vista (sin mortero de nivelación)
Materialidad muros interiores	Muros divisorios en ladrillo con espesor promedio de 12cm		
Materialidad muros exteriores	Muros exteriores en concreto reforzado con acabado colores claros (ej. Blanco, amarillo, azul claro)		Muros exteriores en concreto reforzado con acabado en colores oscuros (ej. Gris oscuro, café oscuro)
Materialidad y acabado de losa	Losa maciza de 10cm de espesor. Acabado en cara inferior con pintura texturizada color blanco		
Materialidad de la cubierta	Losa maciza de 10cm de espesor. Acabado en cara inferior con pintura texturizada color blanco. Acabado en cara superior con impermeabilizante y mortero de 5cm)		
Ventanería	Ventanería de aluminio natural y vidrio claro de 3mm		
Transmitancia térmica de materiales opacos			
Ciudad	Elemento constructivo	U-Value [W/m ² K]	Heat Capacity [[k]/m ² k]
Bogotá - Cali - Medellín	Cubierta	3.696	272.32
	Muros fachadas	3.911	367.92
	Muros interiores	2.861	227,52
	Losa de entrepiso	4.444	229.575
	Losa contrapiso	3.39	570
Características de elementos translúcidos			
Ciudad	U-Value [W/m ² K]	SHGC	Tvis
Bogotá - Cali - Medellín	5.82	0.818	0.877
Elementos de protección fijos y móviles			
En ningún caso se consideraron elementos de protección en las ventanas, ni fijos o móviles (ej: aleros, cortinas)			

Y sistemas de certificación de edificaciones verdes, además de ser considerado uno de los más apropiados para evaluar el desempeño térmico de viviendas que funcionan en oscilación libre (Rubio et al., 2017). Este se basa en el porcentaje de personas insatisfechas (PPD por sus siglas en inglés) y en voto medio previsto (PMV por sus siglas en inglés) como la mayoría de los estándares citados. Esta norma propone un modelo para determinar los requerimientos del confort térmico en edificios naturalmente ventilados y solo es aplicable cuando los ocupantes realizan una actividad sedentaria, con tasa metabólica entre 1 y 1.3 met. Asimismo, contempla dos

límites de temperatura operativa superior y dos inferiores, que corresponden a un índice de aceptabilidad del 80% y 90% respectivamente, y es a partir de los cuales se define el rango de confort para determinado espacio (Godoy, 2012) En la Tabla 6 se presentan los rangos de confort de aceptabilidad del 90% para cada escenario evaluado.

En relación con la definición de la vivienda tipo, a partir de la búsqueda realizada de la oferta del sector inmobiliario se definieron las características para establecer una para cada ciudad de estudio. En la Tabla 6 se presentaron los aspectos evaluados y se identificaron las características



Figura 3. Plantas arquitectónicas de vivienda tipo para Cali, indicando ubicación de aberturas y de obstrucciones. Fuente: Elaboración de los autores.

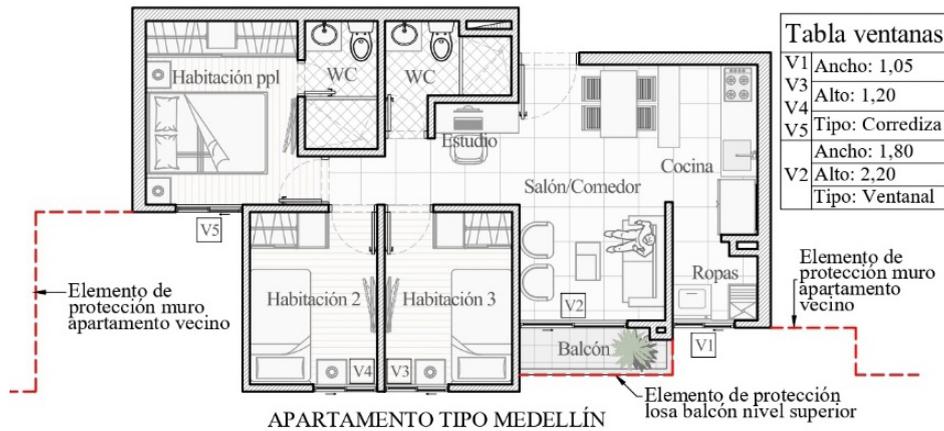


Figura 4. Plantas arquitectónicas de vivienda tipo para Medellín, indicando ubicación de aberturas y de obstrucciones. Fuente: Elaboración de los autores.

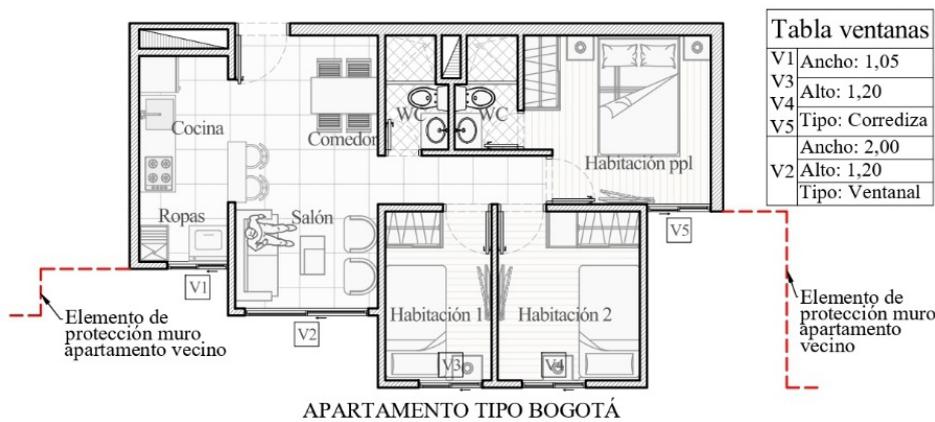


Figura 5. Plantas arquitectónicas de vivienda tipo para Bogotá, indicando ubicación de aberturas y de obstrucciones. Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 7. Resumen de los resultados obtenidos por porcentaje de escenarios favorables. Fuente: Elaboración de los autores.

Ciudad	Piso	Año	Cocina y sala	Hab. principal	Hab. 1	Hab. 2	Porcentaje de escenarios favorables por ciudad	Porcentaje de escenarios favorables totales
Cali	Primer piso	Actual	100%	25%	100%	50%	26%	
		2030	100%	25%	100%	100%		
		2050	100%	25%	100%	100%		
		2080	100%	25%	100%	100%		
	Piso intermedio	Actual	0%	0%	0%	0%		
		2030	0%	0%	0%	0%		
		2050	0%	0%	0%	0%		
		2080	0%	0%	0%	0%		
	Último piso	Actual	0%	0%	0%	0%		
		2030	0%	0%	0%	0%		
		2050	0%	0%	0%	0%		
		2080	0%	0%	0%	0%		
Porcentaje de escenarios favorables por espacio			33,33%	8,33%	33,33%	29,17%		
Medellín	Primer piso	Actual	50%	0%	0%	0%	14%	18,92%
		2030	50%	0%	0%	50%		
		2050	75%	25%	25%	50%		
		2080	100%	50%	100%	100%		
	Piso intermedio	Actual	0%	0%	0%	0%		
		2030	0%	0%	0%	0%		
		2050	0%	0%	0%	0%		
		2080	0%	0%	0%	0%		
	Último piso	Actual	0%	0%	0%	0%		
		2030	0%	0%	0%	0%		
		2050	0%	0%	0%	0%		
		2080	0%	0%	0%	0%		
Porcentaje de escenarios favorables por espacio			22,92%	6,25%	10,42%	16,67%		
Bogotá	Primer piso	Actual	50%	25%	0%	0%	17%	
		2030	50%	25%	0%	0%		
		2050	0%	0%	0%	0%		
		2080	25%	0%	0%	0%		
	Piso intermedio	Actual	75%	100%	0%	0%		
		2030	75%	100%	0%	0%		
		2050	25%	50%	0%	0%		
		2080	75%	100%	25%	0%		
	Último piso	Actual	0%	0%	0%	0%		
		2030	0%	0%	0%	0%		
		2050	0%	0%	0%	0%		
		2080	0%	0%	0%	0%		
Porcentaje de escenarios favorables por espacio			31,25%	33,33%	2,08%	0,00%		

Tabla 8. Consolidado de porcentaje de escenarios en los que se alcanza el 70% o más del tiempo en confort térmico. Fuente: Elaboración de los autores

Ciudad	Cali	Medellín	Bogotá	Total escenarios
Actual	12%	2%	9%	22%
2030	12%	4%	10%	25%
2050	12%	6%	3%	20%
2080	12%	12%	9%	33%

más representativas para cada uno de ellos. Por su parte, la Figura 3, Figura 4 y Figura 5 representan las plantas arquitectónicas de estos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el procesamiento y análisis de los resultados se partió por definir una unidad mínima de análisis, es decir, un escenario. En total, se analizaron 576 escenarios, que se componen de los siguientes parámetros de análisis: una ciudad, un espacio, un año, una ubicación en relación con el edificio y una orientación. Los resultados de las temperaturas operativas en los horarios de ocupación para cada escenario fueron enfrentadas al rango de confort determinado para cada caso, a fin de identificar el tiempo en el que ese escenario se encuentra en confort térmico.

Posteriormente, se definió un valor mínimo que establece un escenario como "aceptable", en términos de confort térmico. Dentro de la bibliografía académica se ha indagado sobre los límites de aceptabilidad para el índice de voto medio previsto (PMV), considerando variables como las fluctuaciones de la temperatura exterior durante el día o el año (Lenzuni, 2021), así como también en la validación de indicadores para evaluar el confort térmico interior, como por ejemplo, el porcentaje de tiempo que se encuentra un espacio dentro del rango de confort térmico (Rueda et al., 2023). Sin embargo, no se encontró un mínimo de aceptabilidad relacionado con el tiempo en confort térmico de un espacio.

En consecuencia, para el análisis de los resultados obtenidos se consideró que los escenarios con 70% o más del tiempo dentro del rango de confort térmico serían espacios con un desempeño térmico "aceptable". Dicho valor se define al considerar que los escenarios evaluados se encuentran en oscilación libre, condición que dificulta alcanzar el 100% del tiempo en confort térmico.

Con la información obtenida se obtuvo, por un lado, una tabla resumen (Tabla 7) que identifica el porcentaje de los escenarios por espacio, por ciudad y totales encontrados dentro de ese rango aceptable de tiempo en confort. Por otro lado, se resumió en la Tabla 8 el porcentaje

de escenarios favorables para cada año, por ciudad y escenarios totales, permitiendo identificar las variaciones entre años.

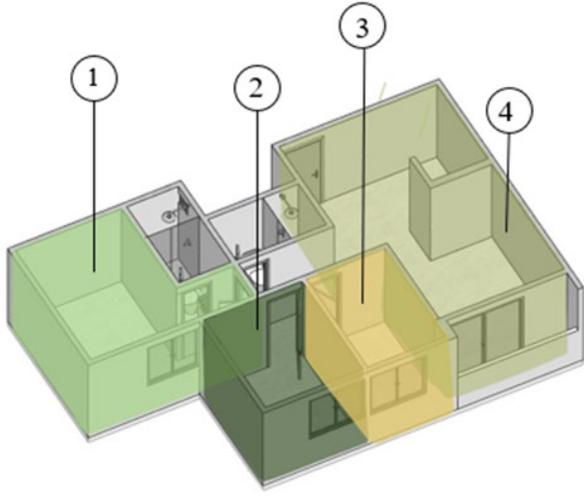
Adicionalmente, en la Figura 6 se identificaron los escenarios más favorables y desfavorables para cada ciudad, considerando la combinación de los parámetros de análisis que arrojaron el mayor y menor tiempo en confort.

De los resultados obtenidos, se observan comportamientos particulares por ciudad y también tendencias generales. Desde una perspectiva general, para Cali y Medellín se presenta un comportamiento diferenciado entre la planta baja, el piso intermedio y superior. Para el primer nivel se presenta un mayor porcentaje de tiempo en confort térmico en la mayoría de los espacios analizados, sin importar orientación ni año evaluado. En contraposición, para estas mismas ciudades, los apartamentos en pisos intermedios y superiores presentan un mayor porcentaje de tiempo por encima del confort térmico en los escenarios evaluados, indicando ganancias térmicas elevadas, situación que también hallaron Murillo et al. (2022) para una VIS existente en la ciudad de Medellín.

Asimismo, se observa un patrón en relación con los tiempos de desconfort térmico. En Medellín y Cali, para la mayoría de estos escenarios, la principal causa son las temperaturas elevadas. Por su parte, en Bogotá solo se presentan situaciones con temperaturas bajas (Tabla 9). Esta condición podría evaluarse según investigaciones como la de Pérez-Fargallo et al. (2018), en la que plantea estándares de confort específicos para cada caso. Se asume además que la situación descrita responde a las condiciones climáticas específicas de cada ciudad.

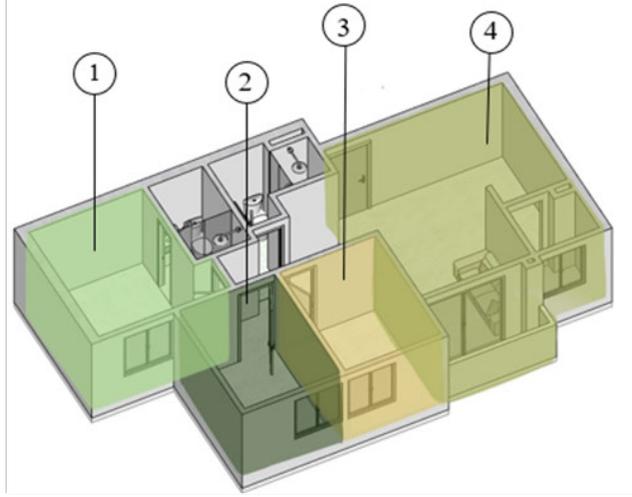
Desde un análisis particular por ciudad, se observa que Cali cuenta con solo el 26% de los escenarios evaluados dentro del rango de tiempo en confort aceptable. Sin embargo, las variaciones de los porcentajes resultantes para estos no se producen entre cada año evaluado. Lo anterior indica que, para este contexto, el déficit de confort no pareciera ser consecuencia del cambio climático, sino más bien del diseño de la VIS actual para Cali. En vista de lo anterior, garantizar una vivienda confortable térmicamente para el escenario actual debería ser la prioridad, lo que a su vez significaría que

Vivienda tipo – Cali



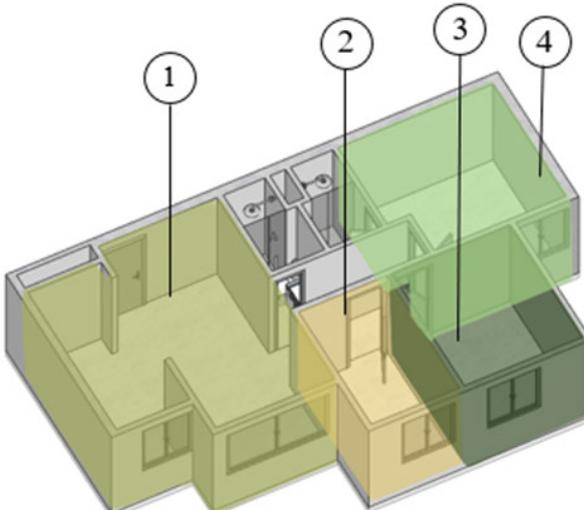
	Escenario desfavorable:	Escenario favorable:
HABITACION PRINCIPAL 1	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 5%	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: Actualidad Tiempo en confort: 82%
HABITACION 1 2	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 4%	Nivel: Inferior Orientación: Norte Años: Actualidad Tiempo en confort: 94%
HABITACION 2 3	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 19%	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 86%
COCINA Y SALA 4	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste y Este Años: 2030, 2050 y 2080 y Actualidad Tiempo en confort: 0%	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: Todos Tiempo en confort: 99%

Vivienda tipo - Medellín



	Escenario desfavorable:	Escenario favorable:
HABITACION PRINCIPAL 1	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2030, 2050 y 2080 Tiempo en confort: 0%	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: Actualidad Tiempo en confort: 99%
HABITACION 1 2	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 15%	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 91%
HABITACION 2 3	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 3%	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 95%
COCINA Y SALA 4	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2050 y 2080 Tiempo en confort: 0%	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 95%

Vivienda tipo - Bogotá



	Escenario desfavorable:	Escenario favorable:
HABITACION PRINCIPAL 1	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: 2050 Tiempo en confort: 37%	Nivel: Intermedio Orientación: Norte y Oeste Años: 2030 y 2050 Tiempo en confort: 97%
HABITACION 1 2	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 6%	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 73%
HABITACION 2 3	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2030 Tiempo en confort: 0%	Nivel: Último Orientación: Norte Años: 2030 Tiempo en confort: 69%
COCINA Y SALA 4	Nivel: Intermedio Orientación: Oeste Años: 2030 Tiempo en confort: 7%	Nivel: Inferior Orientación: Oeste Años: 2080 Tiempo en confort: 94%

Figura 6. Escenarios más desfavorables y favorables para cada ciudad y espacio analizado. Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 9. Porcentaje de escenarios en disconfort, según ciudad y totales de acuerdo con ubicación dentro del rango de confort.
 Fuente: Elaboración de los autores.

Ciudad	Espacio	Mayor porcentaje de tiempo por encima del rango de confort	Mayor porcentaje de tiempo por debajo del rango de confort
Cali	Cocina y sala	67%	0%
	Habitación principal	67%	25%
	Habitación 1	67%	0%
	Habitación 2	67%	0%
	Porcentaje del total de escenarios para Cali	67%	6%
Medellín	Cocina y sala	67%	10%
	Habitación principal	67%	27%
	Habitación 1	67%	23%
	Habitación 2	67%	17%
	Porcentaje del total de escenarios para Medellín	67%	19%
Bogotá	Cocina y sala	0%	65%
	Habitación principal	0%	67%
	Habitación 1	0%	98%
	Habitación 2	0%	100%
	Porcentaje del total de escenarios para Bogotá	0%	82%
Porcentaje del total de escenarios evaluados		44%	36%

estaría preparada para el escenario futuro del cambio climático.

Por otro lado, en Bogotá se presenta mayor tiempo en confort térmico cuando la fachada expuesta se orienta a este y oeste, en comparación con la orientación norte y sur, las cuales no tienen una incidencia solar directa debido al comportamiento del sol en Colombia.

Finalmente, el espacio con mayor afectación frente al cambio climático son las habitaciones, en donde se ven más marcadas las diferencias del tiempo en confort entre los años evaluados, diferente a la cocina en la que las variaciones se encuentran entre el 1%-2%.

CONCLUSIONES

Del total de los escenarios evaluados (576), tan solo el 18,9% se encuentra dentro de un rango aceptable de tiempo en confort térmico. Dentro de esta cifra, es Cali la ciudad en la se observan mayores porcentajes de tiempo en confort térmico, tanto en la actualidad como en la proyección del cambio climático, donde un 26% de los escenarios evaluados para esta ciudad se encuentran dentro del rango de temperatura en confort, porcentaje

igualmente bajo. Adicionalmente, sorprende que, para el total de los casos evaluados en las tres ciudades, se presenta una tendencia favorable con el paso del tiempo. Por ejemplo, para el 2080, aumenta el porcentaje de escenarios favorables en un 11%, frente al porcentaje de escenarios favorables para el clima actual, para el que se obtiene un 78% de los casos evaluados por fuera del rango en confort térmico.

Lo anterior indica que la mayor parte de la VIS actualmente construida en Colombia no brinda condiciones de confort térmico tanto en un escenario de cambio climático, como en el escenario actual, pues en ambas situaciones los casos favorables representan un bajo porcentaje respecto al total de los casos evaluados. Esta situación se ve agravada por la similitud encontrada entre los diseños arquitectónicos de apartamentos en las diferentes ciudades, ya que evidencia una desconexión con el contexto climático, lo que podría ser uno de los principales motivos por los que se presentan situaciones como las que se reflejan en los resultados obtenidos.

Para futuras investigaciones se hace urgente indagar en estrategias de diseño que respondan al cambio climático para las viviendas nuevas, así como en estrategias de adaptación al cambio climático para viviendas existentes,

considerando en ambos escenarios, como primera medida, satisfacer el confort térmico del contexto actual. Los análisis particulares por ciudad, así como la identificación de algunas tendencias descritas en el apartado anterior, pueden servir como punto de partida para lo propuesto.

Cabe destacar, además, que dentro de las simulaciones se tomaron las consideraciones tales como no incluir preexistencias o vecinos, ya que no había un entorno estimado por ser situaciones hipotéticas. Adicionalmente, las rutinas para el usuario considerado son las establecidas en estándares internacionales, es decir, no están acotadas a la realidad sociocultural colombiana. Esto se debe a que, en la actualidad, no hay un perfil creado que pueda ser estudiado en este tipo de análisis específicos.

Finalmente, al ser una investigación que no considera mediciones reales de los espacios, sus conclusiones, si bien pueden dar indicios de posibles situaciones, estas deberán corroborarse en futuras investigaciones con mediciones en sitio y encuestas de percepción de confort térmico.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se desarrolló dentro del semillero de investigación de bienestar, clima y sostenibilidad de la Universidad de San Buenaventura-Medellín, a quién los autores agradecen por promover la creación de estos espacios. Asimismo, los autores agradecen a la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de la República (Montevideo, Uruguay), especialmente a Alicia Piccion y a Lucía Pereira, por brindar apoyo técnico durante el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alabsi, A. A. N., Wu, Y., Koko, A. F., Alshareem, K. M. & Hamed, R. (2021). Towards Climate Adaptation in Cities: Indicators of the Sustainable Climate adaptive Urban Fabric of Traditional Cities in West Asia. *Applied Sciences*, 11(21), 10428. DOI: <https://doi.org/10.3390/app112110428>

Aleksić, J., Kosanović, S., Tomanović, D., Grbić, M., & Murgul, V. (2016). Housing and Climate Change-related Disasters: A Study on Architectural Typology and Practice. *Procedia Engineering*, 165, 869–875. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.786>

ASHRAE 55 (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy. Edit. ASHRAE Standar, American National Standards Institute (ANSI). GAJ0392, Recuperado de: www.ashrae.org

Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2013). NBR 15575 - *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 1*.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018. Resultados Colombia total nacional*. DANE. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/infografias/info-CNPC-2018total-nal-colombia.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2021a). *Censo de edificaciones (CEED) Históricas*. DANE. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/censo-de-edificaciones/ceed-historicos>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2021b). *Informes de Estadística Sociodemográfica Aplicada: Patrones y tendencias de la transición urbana en Colombia (Nro.7)*. Gobierno de Colombia. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/informes-estadisticas-sociodemograficas/2021-10-28-patrones-tendencias-de-transicion-urbana-en-colombia.pdf>

Eckardt, F. (2011). Landscapes of Disaster. *Topos*, (76), 47–50. Recuperado de: https://www.uni-weimar.de/fileadmin/user/fak/architektur/professuren_institute/Stadtforschung/media/Landscapes_of_Disaster_Topos_F_Eckardt.pdf

Escoto Castillo, A., Sánchez Peña, L. & Gachuz Dalgado, S. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(3), 669–693. DOI: <https://doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684>

Gamble, J., L., Ebi, K., Grambsch, A. E., Sussman, F. G. & Wilbanks, T. J. (2009). Analyses of the Effects of Global Change on Human Health and Welfare and Human Systems (SAP 4.6) United States, *Environmental Protection Agency*, Washington, D.C.

Gifreu, J. (2018). Ciudades adaptativas y resilientes ante el cambio climático: estrategias locales para contribuir a la sostenibilidad urbana. *Revista Aragonesa de Administración Pública*, (52), 102-158. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6759308>

Giraldo, C., Bedoya, C., & Alonso, L. (2015). Eficiencia energética y sostenibilidad en la vivienda de interés social en Colombia. En *Greencities & Sostenibilidad*, 155–180. Málaga, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: https://oa.upm.es/42543/1/INVE_MEM_2015_229809.pdf

Giraldo, W. & Herrera, C. A. (2017). Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 77–101. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n1/2145-9371-inde-35-01-00077.pdf>

Godoy Muñoz, A. (2012). El confort térmico adaptativo: aplicación en la edificación en España. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña]. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18763/TFM_Alfonso%20Godoy%20Munoz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

IDEAM & UNAL. (2018). *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales., Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/OPENBIBLIO/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>

IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. (Nro. 4). Informe público 2007. IPCC. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf

IPCC. (2020). El cambio climático y la tierra. Informe público 2020. IPCC. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf

ISO 7730 (2005). 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. Recuperada de: <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/03/91/39155.html>

Januszkiewicz, K. (2017). Climate Change Adopted Building Envelope as A Protector of Human Health in the Urban Environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245(5), 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/5/052004>

Kebede, A. S., Nicholls, R. J., Allan, A., Arto, I., Cazcarro, I., Fernandes, J. A., Hill, C. T., Hutton, C. W., Kay, S., Lázár, A. N., Macadam, I., Palmer, M., Suckall, N., Tompkins, E. L., Vincent, K. & Whitehead, P. W. (2018). Applying the global RCP-SSP-SPA scenario framework at sub-national scale: A multi-scale and participatory scenario approach. *Science of the Total Environment*, 635, 659-672. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.368>

Lenzuni, P. (2021). Compliance with limits of acceptability for thermal comfort, and implications for long-term comfort. *Building and Environment*, 204, 108067. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108067>

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2020). *VIS y VIP I Minivienda*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Recuperado de: <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-vivienda/vis-y-vip>

Murillo, M., Calle J., Jaramillo, S., Garavito, A. & Parra, E. (2022). *Desempeño térmico de la vivienda social por niveles según el cambio climático*. VI Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable (MACDES), La Habana, Cuba.

O'Neill, B. C., Krieglér, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R. & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122, 387-400. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>

Pabón, J. (2012). Cambio climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(139), 261-278. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082012000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Pabón, J. & Montealegre, E. (2017). Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos. *Revista de la Academia Colombiana de ciencias exactas*, 41(34), 1-168. Recuperado de: <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/113>

Pedersen, J. S. T., Duarte Santos, F., van Vuuren, D., Gupta, J., Encarnação Coelho, R., Aparício, B. A. & Swart, R. (2021). An assessment of the performance of scenarios against historical global emissions for IPCC reports. *Global Environmental Change*, 66, 102199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102199>

Pereira Ruchansky, L. (2019). *Evaluación del desempeño térmico y energético de mejoras pasivas aplicadas a vivienda existente en contexto de cambio climático en Montevideo (Uruguay)*. [Tesis de Maestría, Universidad del Bío-Bío]. Repositorio digital-Sistema de bibliotecas Universidad del Bío-Bío. Recuperado de: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3868/1/Pereira_Ruchansky_Lucia.pdf

Pérez-Fargallo, A., Pulido-Arcas, J. A., Rubio-Bellido, C., Trebilcock, M., Piderit, B. & Attia, S. (2018). Development of a new adaptive comfort model for low-income housing in the central-south of Chile. *Energy and Buildings*, 178, 94-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.030>

Quante, M. & Bjørnæs, C. (2016). Introduction to the Assessment—Characteristics of the Region. In: Quante, M., Colijn, F. (eds) *North Sea Region Climate Change Assessment. Regional Climate Studies*. Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-39745-0_1

Rubio-Bellido, C., Pérez-Fargallo, A., Pulido-Arcas, J. & Trebilcock, M. (2017). Application of adaptive comfort behaviors in Chilean social housing standards under the influence of climate change. *Building Simulation*, 178(10), 933-947. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0385-9>

Rueda López, M. J., Moujalled, B., Guyot, G., Golly, B., Ondarts, M., Wurtz, F. & Gonze, E. (2023). Analysis and comparison of thermal comfort indicators based on a long-term campaign in low energy residences. *Journal of Building Engineering*, 65, 105707. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105707>

Solem L.L.C. (2020). Solemma. ClimateStudio Documents. Recuperado de: <https://climatestudiodocs.com/docs/thermalAnalysis.html>

Soto-Estrada, E., Álvarez-Carrascal, M. F., Gómez-Lizarazo, J. & Valencia-Montoya, D. (2016). Confort térmico en Viviendas de Medellín. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 51-68. DOI: <https://doi.org/10.22395/RIUM.V18N35A4>

UNE-EN 16798-1 (2020). 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. Recuperada de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063261>