

- ▲ **Palabras clave/** Confort adaptativo, eficiencia energética, cambio climático, trayectorias de concentración representativas.
- ▲ **Keywords/** Adaptive comfort, energy efficiency, climate change, Representative Concentration Path.
- ▲ **Recepción/** 11 de abril 2023
- ▲ **Aceptación/** 09 de abril 2024

Evaluación de demanda energética y confort térmico en escenarios de cambio climático para vivienda tropical: caso de San Andrés y Providencia, Colombia

Evaluation of Energy Demand and Thermal Comfort in Climate Change Scenarios for Tropical Housing: The Cases of San Andrés and Providencia, Colombia

Anna Gabriela Ramírez-Cuastuza

Arquitecta, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
Magister en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética, Universidad del Bío Bío, Concepción, Chile.
Profesora investigadora, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
agramirez@ucatolica.edu.co

Oscar Mauricio Alarcón-Rodríguez

Maestría en Arquitectura Bioclimática, Universidad de Colima, Colima, México.
Profesor, Facultad de Diseño, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
omalardon@ucatolica.edu.co

RESUMEN/ La arquitectura y el sector edificatorio son los principales consumidores de energía a nivel global. Este estudio comparó los resultados mediante el uso de datos climáticos futuros con el fin de estimar los cambios climáticos y la variación en el confort térmico futuro en el territorio insular colombiano, más específicamente San Andrés y Providencia. Ello porque dado que, pese a la alteración en el rango de confort térmico de los escenarios futuros, la demanda de energía de las edificaciones aumenta en el clima cálido-húmedo. Ante esto se realizaron simulaciones térmico-energéticas avanzadas con el software Design Builder sobre un modelo de vivienda básico. Los resultados mostraron que, para los años 2030, 2050 y 2100, podría verse un aumento en la demanda de energía por refrigeración por los efectos ya reconocidos del calentamiento global. **ABSTRACT/** Architecture and the building sector account for the largest share of energy consumption at the global level. This study compared results using future climate data in order to estimate climate changes and future thermal comfort variation in Colombia's island areas, particularly San Andrés and Providencia. In spite of alterations in the thermal comfort range in future scenarios, a building's energy demand increases in warm-humid climates. For this, advanced thermal-energy simulations were conducted with the Design Builder software on a basic housing model. The results showed that –for years 2030, 2050, and 2100– the energy demand could increase due to air conditioning needs given the already known impacts of global warming.

INTRODUCCIÓN

Cada vez más aumenta la preocupación sobre el futuro del planeta que habita el ser humano, inquietud asociada con el respeto por el medioambiente y su sostenibilidad. En este sentido, también se considera el papel fundamental que juega la arquitectura, lo cual ha permitido la revalorización de técnicas constructivas que acuden a elementos naturales y tradicionales de construcción que son potencialmente alternativas y que

buscan el cuidado del hábitat de millones de seres. De igual forma, en este debate se tiene en cuenta la necesaria disminución de la demanda energética de los edificios, puesto que se considera que la arquitectura es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidas a la atmósfera. De acuerdo con la ciencia del cambio climático, las acciones que permiten enfrentar la emergencia climática toman dos vías: la mitigación y la adaptación. Según la

definición del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), la adaptación busca reducir la vulnerabilidad frente a los inminentes desastres naturales, como inundaciones y variaciones de temperatura. Por otro lado, la mitigación consiste en reducir el número de toneladas de dióxido de carbono que se emiten hacia la atmósfera. En consecuencia, desde la arquitectura, es imperativo el desarrollo de investigaciones que permitan determinar estrategias de mitigación y

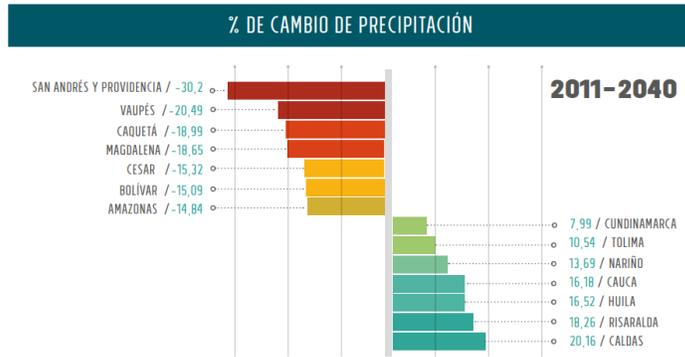


Figura 1. Porcentaje de cambio en precipitación por regiones (fuente: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático - Resumen Ejecutivo, IDEAM, 2017).

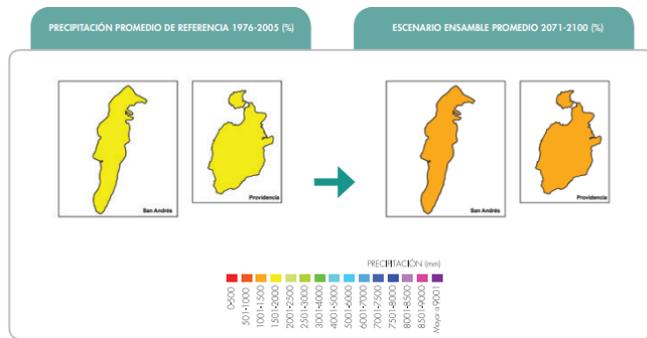


Figura 2. Escenario ensamble promedio 2071-2100 precipitación (fuente: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático - Resumen Ejecutivo, IDEAM, 2017).

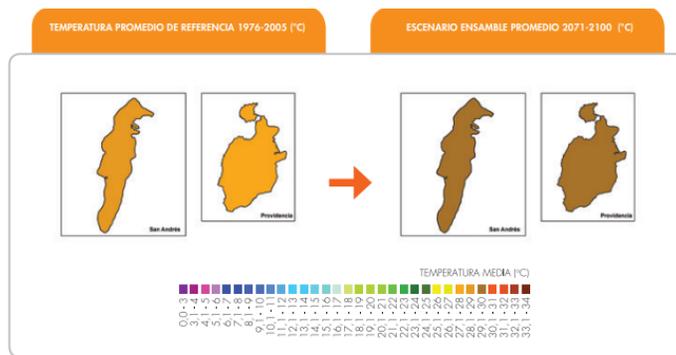


Figura 3. Escenario ensamble promedio 2071-2100 temperatura (fuente: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático - Resumen Ejecutivo, IDEAM, 2017).

adaptación para todas las etapas del ciclo de vida de la edificación.

El archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina es uno de los 32 departamentos de Colombia; su capital es San Andrés. Se encuentra ubicado a 12,84° de latitud norte y 81,54° de latitud oeste, y su extensión es de 52 km², lo que lo convierte en el departamento menos extenso del país¹. Ubicado en la zona intertropical, presenta un clima cálido-húmedo, no estacional constante a lo largo del año, con temperaturas medias anuales históricas de 27,4 °C, humedad relativa anual promedio de 82%, y precipitaciones promedio de 1.800 mm anuales.

De acuerdo con los escenarios de cambio climático, Colombia es un país altamente vulnerable a los fenómenos climáticos extremos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2017). Adicionalmente, la región de San Andrés y Providencia estaría afecta en el futuro a una importante disminución de las precipitaciones (cerca del 30%) con respecto a los datos climáticos actuales (figura 1).

La proyección para el año 2100 en San Andrés podría registrar una disminución de lluvias, que pasarían de 2.000 mm a 1.001 o 1.500 mm anuales (figura 2). Por otra parte, se muestra el cambio proyectado en la temperatura media anual: un aumento entre 27,1 °C y 28 °C a 29,1 °C y 30 °C (figura 3). Ante esto, los principales efectos serían el compromiso de la provisión hídrica en el territorio insular colombiano, el aumento de las enfermedades asociadas a la disminución de condiciones sanitarias, el considerable estrés térmico y la disminución de la oferta alimentaria en las islas.

Pese a que estas proyecciones futuras se consideran lejanas, las islas sobrellevan las consecuencias de los eventuales efectos climáticos derivados a causa de desastres naturales. La madrugada del 16 de noviembre de 2020, el archipiélago de San Andrés,

1 https://es.wikipedia.org/wiki/Archipi%C3%A9lago_de_San_Andr%C3%A9s_Providencia_y_Santa_Catalina

Providencia y Santa Catalina sufrió el impacto del huracán Iota que, aunque no suponía gran riesgo para las islas, pasó de ser de categoría 2 a categoría 5, la máxima en la escala Saffir Simpson, que mide la velocidad de los vientos (máxima de 260 km/h). Esta situación evidenció la ineficiencia en la reconstrucción del territorio afectado y se sumó a las problemáticas ambientales, sociales, económicas y culturales que ya se vivían en la isla.

Al respecto, se debe resaltar que la construcción de viviendas no se había completado hasta el año 2023; por eso el territorio enfrentaba los escenarios inmediatos por impactos de huracanes. Por ese motivo, se consideró oportuna la aplicación de criterios de confort ambiental orientados al estudio de las condiciones futuras del clima, a fin de optimizar los recursos y proveer soluciones habitacionales acordes a las características del lugar y a los posibles cambios climáticos. De esa manera, los habitantes podrían protegerse de los efectos de los fenómenos naturales que comúnmente azotan a la región Caribe colombiana.

ANTECEDENTES

En este contexto algunos estudios sugieren la utilidad de la aplicación de datos climáticos futuros como principal herramienta de diseño para prever escenarios de aplicación de estrategias pasivas y estimaciones de temperatura y demanda energética de los edificios y su relación con el cambio climático (Huang y Gurney, 2016). Aun así, y pese a los esfuerzos que se hacen por satisfacer la demanda energética con fuentes de energía amigables con el medioambiente, los escenarios climáticos que advierten el aumento de la temperatura suponen un incremento en dicha demanda en los edificios a futuro, escenario que va en contravía de los esfuerzos y compromisos adquiridos en el marco de los acuerdos internacionales y la hoja de ruta nacional que propone la descarbonización de la industria de la construcción. Esto último con la disminución de la demanda energética y la aplicación de criterios de adaptación al

cambio climático en todas las edificaciones en relación con las metas específicas de 2030, 2050 y 2100 (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible [CCCS], 2022). El quinto informe elaborado por el IPCC (2014) define cuatro escenarios de emisiones y las trayectorias de concentración representativas (*Representative Concentration Path o RCP*). Tales escenarios se caracterizan por su forzamiento radiativo total para el año 2100, y oscilan entre 2,6 y 8,5 W/m². Las cuatro trayectorias RCP consideran un escenario donde los esfuerzos de mitigación del cambio climático conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP 2,6), dos escenarios de estabilización (RCP 4,5 y RCP 6,0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP 8,5).

Asimismo, se han realizado estudios que relacionan los datos climáticos futuros y donde se estiman estrategias pasivas y activas que consideran, además de las RCP, su influencia en las estrategias de diseño bioclimático del entorno construido (Bienvenido *et al.*, 2021a). Con esto, se han podido obtener los cambios anuales en el consumo de energía, que oscilan entre -17% y +21%; mientras tanto, a escala local, los cambios oscilan entre -20% y +24% (Huang y Gurney, 2016).

De igual manera, se han demostrado las afectaciones de las edificaciones sobre el confort térmico. Ante esto, los resultados mostraron que los escenarios de cambio climático con mayor impacto podrían influir en tal confort, reduciéndolo significativamente en los climas cálidos, con lo que aumentaría el uso de sistemas de refrigeración. Esto último debido a la pérdida de efectividad de las estrategias de diseño pasivo, lo que aumentaría la demanda energética hasta en 27%. Por otro lado, las zonas de clima frío podrían verse favorecidas por el efecto del cambio climático, al aumentar el número de horas de confort térmico, las cuales se redujeron en las demás zonas.

Por todo lo mencionado las estrategias de diseño deben ser dinámicas frente a los posibles escenarios (Zhai y Helman, 2019). Cabe mencionar que estos valores estimados

para el aumento de la demanda energética de la vivienda resultan de las características climáticas basadas en los modelos climáticos globales y regionales; se predice que la temperatura exterior podría aumentar en 1,52 °C del presente al futuro, con lo cual, por ejemplo, se incrementaría la carga de calor sensible para la vivienda unifamiliar en Tokio en 15% (Kikumoto *et al.*, 2015). Finalmente, se puede decir que los resultados muestran un aumento general en el consumo total de energía, con una disminución relativa en la demanda de calefacción y un incremento en la demanda de refrigeración, según los casos de estudio (Cellura *et al.*, 2018).

En suma, se considera que los resultados de este estudio podrían ser de utilidad para los responsables de la formulación de políticas, diseñadores e interesados; ello, a fin de identificar estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático (Bienvenido *et al.*, 2021b). Esto sugiere que futuros estudios deberían considerar estándares alternativos adaptados a las peculiaridades locales. Además, estos escenarios permitirían utilizar el estándar de confort adaptativo para proporcionar a sus habitantes calidad térmica en los edificios nuevos y existentes, mientras se contiene la demanda de energía para calefacción, ventilación y aire acondicionado (*Heating, Ventilation, Air Conditioning, HVAC*). Este sería un objetivo desafiante para el futuro cercano y los modelos de confort adaptativo podrían ser de gran ayuda en ese sentido (Bienvenido *et al.*, 2020).

METODOLOGÍA

La metodología propuesta considera cuatro fases (figura 4). La fase 1 consiste en una revisión documental con respecto a escenarios de cambio climático y la aplicación de variables de bioclimática, sostenibilidad y demanda energética de la edificación, así como las metas futuras de mitigación y adaptación al cambio climático. La fase 2 contempla la revisión de datos climáticos en escenarios futuros, obtenidos mediante el software MeteorNorm, y se consideran dos escenarios representativos de cambio

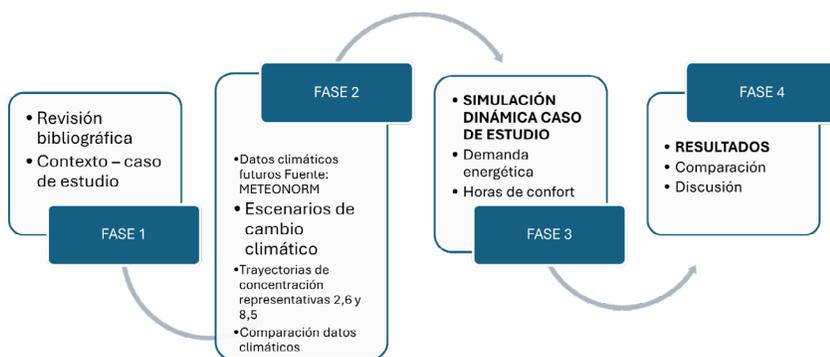


Figura 4. Metodología (fuente: elaboración propia, 2022).



Figura 5. Modelo de vivienda representativa de San Andrés (fuente: elaboración propia, 2022).

climático: RCP 2,6 y RCP 8,5 (escenario decreciente y creciente) para los años 2030, 2050 y 2100 según el clima de San Andrés. La fase 3 considera la simulación dinámica en el software Design Builder mediante la aplicación de los datos climáticos analizados en un caso representativo básico de vivienda para estimar la demanda energética y el confort térmico. Finalmente, la fase 4 consiste en la comparación de estos resultados y en la estimación de distintas alternativas que

permitan la aplicación de estrategias de sostenibilidad en escenarios futuros.

Contexto del caso de estudio

De acuerdo con la revisión bibliográfica y en el marco de las condiciones culturales de la vivienda en el departamento de San Andrés y Providencia, se recogen algunas características de la vivienda raizal que son representativas de la vivienda en las islas (Fonseca y Saldarriaga, 1985; Sánchez, 2009). Ante esto, se tiene que el material

propuesto es la madera, representativa de la vivienda isleña; por ello, se propone una unidad básica de planta rectangular de 96 m², con techo a dos aguas, puerta de entrada en el centro de la fachada sur y ventanas con protección solar.

Asimismo, por tratarse de un modelo representativo, que no tiene ubicación específica y cuya distribución espacial consiste en un solo espacio que puede estar dividido de múltiples formas (César *et al.*, 2003), la orientación propuesta se da en sentido norte-sur para las fachadas principales, y se mantienen los aleros en las cuatro fachadas; ello, con el fin de reducir las ganancias solares por ventanas (Varini, 2015) (figura 5).

Análisis de datos climáticos

Los datos climáticos de cada zona se obtuvieron a través de Meteonom, un software ampliamente utilizado que cuenta con datos de 8.325 estaciones meteorológicas repartidas a nivel mundial (Bellia *et al.*, 2015). Por otra parte, los datos del clima histórico y futuro se obtuvieron con dos escenarios de RCP: uno bajo (RCP 2,6) y uno alto (RCP 8,5). Cada escenario considera diferentes tendencias de evolución de las emisiones de GEI: RCP 2,6 es el escenario más cercano al cumplimiento de las metas de descarbonización, y RCP 8,5 es el más desfavorable, con un aumento de la temperatura media global entre 2,6 °C y 4,8 °C. Igualmente, los datos climáticos se obtuvieron por cada escenario para los años 2030, 2050 y 2100, representativos de las metas de mitigación y adaptación al cambio climático en Colombia.

Con todo lo anterior, se obtuvieron siete datos climáticos de San Andrés (uno del escenario actual y seis de escenarios futuros) y cada dato se analizó con el software Climate Consultant a fin de determinar el porcentaje de horas de confort térmico y las necesidades de uso de los sistemas HVAC, con y sin estrategias de diseño. Para esto, se utilizó el modelo de confort térmico definido en ASHRAE 55, diseñada por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y

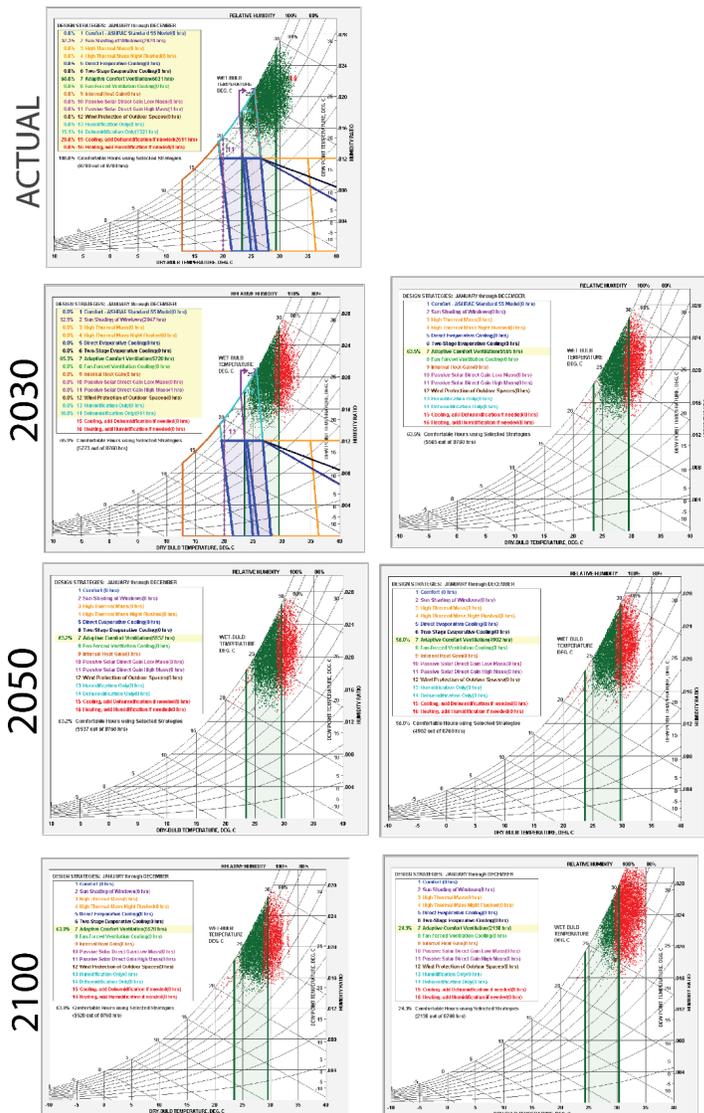


Figura 6. Variación en temperatura y humedad relativa según escenarios climáticos - visualización en el software Climate Consultant (fuente: elaboración propia, 2022).

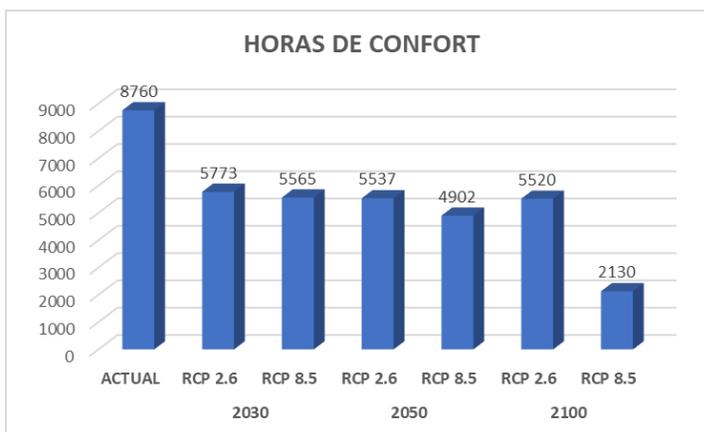


Figura 7. Horas de confort según Climate Consultant (fuente: elaboración propia, 2022).

Aire Acondicionado (ASHRAE, 2017), sobre el modelo de voto predictivo.

La fase 2 del presente trabajo muestra la variación en temperatura y humedad relativa de acuerdo con los escenarios de cambio climático para los años 2030, 2050 y 2100 (figura 6 y tabla 1). Así, se hizo una comparación entre los RCP 2,6 y RCP 8,5, y se encontró que las horas de confort disminuyen significativamente en el escenario RCP 8,5 (figura 7).

Para los datos climáticos actuales de San Andrés, es posible -mediante estrategias pasivas- llegar al 100% de horas de confort anual con un rango de confort entre los 23,3 °C y 29,4 °C, porcentaje de horas que disminuye en cada escenario futuro. El caso del escenario RCP 8,5 del año 2100 es el más crítico, con apenas 2130 horas, lo cual supone el 24% del total anual, con un aumento en el rango de confort entre 24,3 °C y 30,3 °C. Posteriormente, estos valores se contrastaron con los resultados de la simulación realizada en el caso representativo según las condiciones de simulación dinámica. Para eso, se elaboraron varias simulaciones dinámicas en el software Design Builder, cuyo motor de cálculo es Energy Plus. Lo anterior, conforme a los siguientes parámetros de simulación:

- Se establecieron dos casos de estudio para cada escenario futuro y para cada RCP. Este proceso consistió en evaluar los resultados de confort térmico con y sin sistemas de aire acondicionado, y para ello se consideró un sistema de refrigeración convencional con un RCP 1,6 en operación las 24 horas.
- Para el caso sin sistemas de aire acondicionado, se consideró un valor de infiltraciones de 0,7 ac/h (cambio de aire por hora), propio de la materialidad escogida (tabla 2), teniendo en cuenta los valores representativos para la vivienda de San Andrés.

RANGO DE CONFORT - TEMPERATURA OPERATIVA			
		TEMPERATURA MÍNIMA	TEMPERATURA MÁXIMA
Actual		23,3 °C	29,4 °C
2030	RCP 2,6	23,4 °C	29,5 °C
	RCP 8,5	23,5 °C	29,5 °C
2050	RCP 2,6	23,5 °C	29,5 °C
	RCP 8,5	23,7 °C	29,7 °C
2100	RCP 2,6	23,5 °C	29,6 °C
	RCP 8,5	24,3 °C	30,3 °C

Tabla 1 Rangos de confort para datos climáticos. Fuente: elaboración propia, 2022.

CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO	
MATERIALIDAD	
Muros	Entramado de madera. Valor U: 2,058 W/m ² -K.
Cubierta	Acabado en teja tipo zinc + entramado de madera. Valor por U: 1,613 W/m ² -K.
Contrapiso	Placa en concreto ventilada a 0,8 m del suelo.
Ventanas	30% de superficie vidriada en fachadas norte y sur. Ventana con simple vidriado de 3 mm.

Tabla 2 Caracterización del proyecto. Fuente: elaboración propia, 2022.

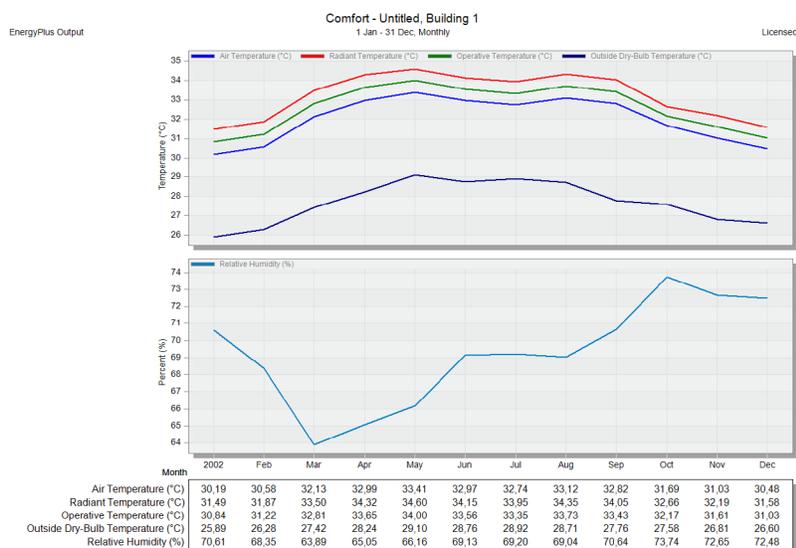


Figura 8. Resultados temperatura San Andrés con datos climáticos actuales (fuente: Design Builder, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez que se estableció el modelado según los criterios mencionados, se realizaron las simulaciones dinámicas que permitieron obtener los resultados para cada clima y en cada escenario de cambio climático (figuras 8-14).

Para los datos climáticos actuales, se evidencia una temperatura operativa promedio de 32,32 °C, con una temperatura máxima de 48,56 °C a las 16:00 hrs el 5 de mayo (figura 8). Estas condiciones se logran sin el uso de sistemas activos; sin embargo, con datos de refrigeración, se obtiene una temperatura promedio de 27,26 °C, con una temperatura máxima de 34,37 °C. Esta disminución se resume en un aumento de las horas de confort del 41,8%, y sin refrigeración a 74,2% con sistemas activos, lo cual supone una demanda energética de 308,87 Kwh/m²/año (figuras 15, 16 y 17).

Para los datos climáticos futuros a 2030 en el escenario RCP 2,6, se evidencia una temperatura operativa promedio de 33,1 °C, con una temperatura máxima de 48,69 °C (figura 9). Estas condiciones se logran sin el uso de sistemas activos; sin embargo, con datos de refrigeración se obtiene una temperatura promedio de 27,53 °C, con una temperatura máxima de 35,16 °C. Esta disminución de la temperatura promedio se resume en un aumento de las horas de confort de 38,8%, y sin refrigeración a 71,7% con sistemas activos, lo cual supone una demanda energética de 328,69 Kwh/m²/año (figuras 15, 16 y 17).

Para los datos climáticos futuros a 2030 en el escenario RCP 8,5, se evidencia una temperatura operativa promedio de 33,19 °C, con una temperatura máxima de 49,54 °C (figura 10). Estas condiciones se logran sin el uso de sistemas activos; sin embargo, con datos de refrigeración, se obtiene una temperatura promedio de 27,58 °C, con una temperatura máxima de 35,59 °C. Esta disminución de la temperatura promedio se resume en un aumento de las horas de confort de 37,9%, y sin refrigeración a 71,2% con sistemas activos, lo cual supone una

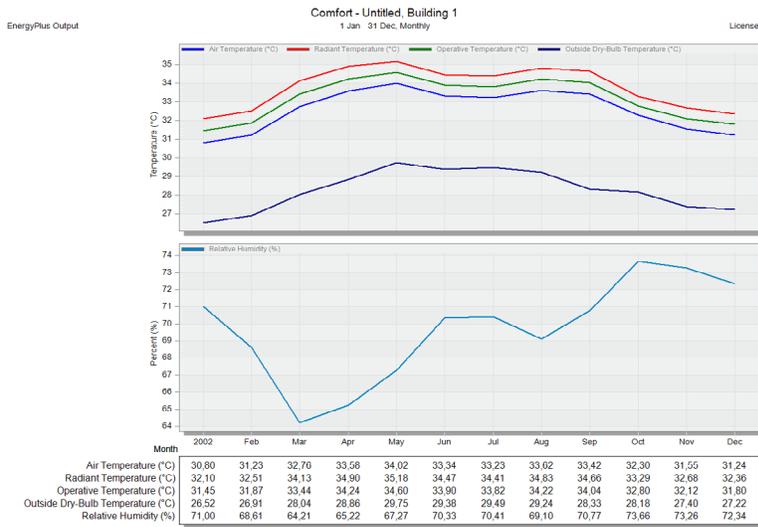


Figura 10. Resultados temperatura clima 2030 RCP 8,5 - estrategias pasivas (fuente: Design Builder, 2022).

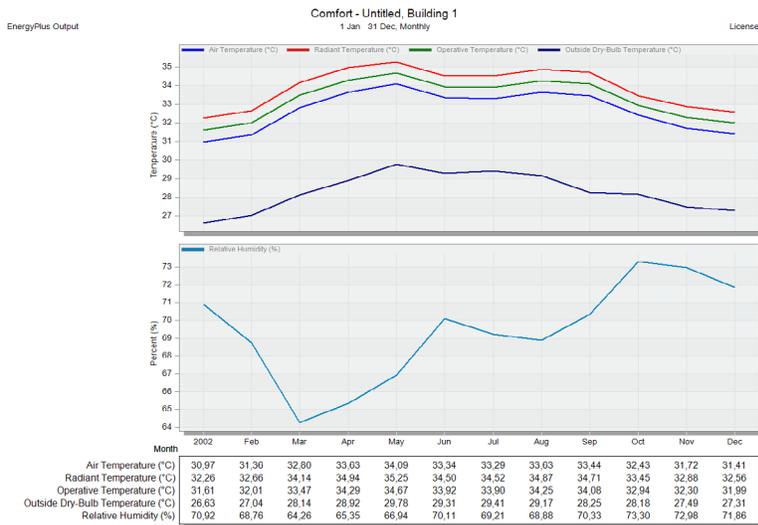


Figura 11. Resultados temperatura clima 2050 RCP 2,6 - estrategias pasivas (fuente: Design Builder, 2022).

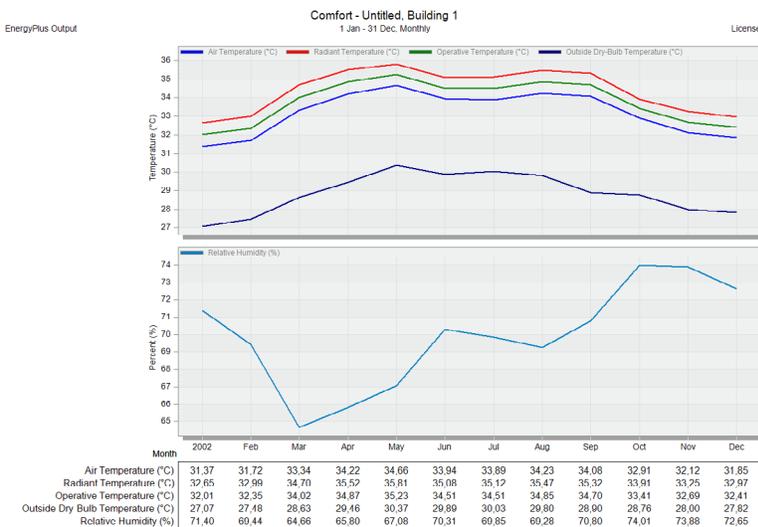


Figura 12. Resultados temperatura clima 2050 RCP 8,5 - estrategias pasivas (fuente: Design Builder, 2022).

demanda energética de 333,59 Kwh/m²/año (figuras 15, 16 y 17).

Para los datos climáticos futuros a 2050 en el escenario RCP 2,6, se evidencia una temperatura operativa promedio de 33,29 °C, con una temperatura máxima de 48,9 °C (figura 11). Estas condiciones se logran sin el uso de sistemas activos; sin embargo, con datos de refrigeración, se obtiene una temperatura promedio de 27,62 °C, con una temperatura máxima de 35,14 °C. Esta disminución de la temperatura promedio se resume en un aumento de las horas de confort de 37,4%, y sin refrigeración a 70,5% con sistemas activos, lo cual supone una demanda energética de 336,85 Kwh/m²/año (figuras 15, 16 y 17).

Para los datos climáticos futuros a 2050 en el escenario RCP 8,5, se evidencia una temperatura operativa promedio de 33,8 °C, con una temperatura máxima de 51,41 °C (figura 12). Estas condiciones se logran sin el uso de sistemas activos; sin embargo, con datos de refrigeración, se obtiene una temperatura promedio de 27,9 °C, con una temperatura máxima de 36,25 °C. Esta disminución de la temperatura promedio se resume en un aumento de las horas de confort de 35,3%, y sin refrigeración a 68,8% con sistemas activos, lo cual supone una demanda energética de 357,96 Kwh/m²/año (figuras 15, 16 y 17).

Para los datos climáticos futuros a 2100 en el escenario RCP 2,6, se evidencia una temperatura operativa promedio de 33,32 °C, con una temperatura máxima de 49,94 °C (figura 13). Estas condiciones se logran sin el uso de sistemas activos; sin embargo, con datos de refrigeración, se obtiene una temperatura promedio de 29,20 °C, con una temperatura máxima de 38,28 °C. Esta disminución de la temperatura promedio se resume en un aumento de las horas de confort de 38,9%, y sin refrigeración a 72,2% con sistemas activos, lo cual supone una demanda energética de 337,03 Kwh/m²/año (figuras 15, 16 y 17).

Para los datos climáticos futuros a 2100 en el escenario RCP 8,5, se evidencia una temperatura operativa promedio de 35,95 °C, con una temperatura máxima de 51,8 °C

(figura 14). Estas condiciones se logran sin el uso de sistemas activos; sin embargo, con datos de refrigeración, se obtiene una temperatura promedio de 27,65 °C, con una temperatura máxima de 35,37 °C. Esta disminución de la temperatura promedio se resume en un aumento de las horas de confort de 38,9%, y sin refrigeración a 72,2% con sistemas activos, lo cual supone una demanda energética de 447,02 Kwh/m²/año (figuras 15, 16 y 17).

Existe una correlación entre la variación de horas fuera del rango de confort que aumenta en los escenarios para los años 2030, 2050 y 2100, principalmente en los escenarios RCP 8,5, que suponen en principio un aumento significativo de la temperatura debido a los mayores efectos de forzamiento radiativo (figuras 15, 16 y 17). Esto último se asocia al calentamiento global, donde la tendencia en todos los casos es al aumento de la demanda energética de las edificaciones, principalmente para la refrigeración en un clima tropical húmedo, como el de San Andrés.

CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación muestran que el uso de estrategias pasivas para el diseño bioclimático del entorno construido puede tener gran impacto en la reducción de la demanda energética y en el aumento de las horas de confort. Los resultados indican que, para los escenarios de RCP 2,6 y RCP 8,5, las estrategias pasivas son primordiales para evitar el sobrecalentamiento de las edificaciones y, con ello, el aumento de la demanda energética principalmente por refrigeración.

Igualmente, el uso de datos climáticos futuros es una herramienta útil para prever escenarios de aplicación de estrategias pasivas, estimaciones de temperatura y demanda energética de los edificios, así como su relación con el cambio climático. Esto puede ayudar a los diseñadores a tomar decisiones informadas con el fin de reducir la demanda energética y mejorar el confort térmico en los edificios, dado que permite anticipar los cambios climáticos y adaptar

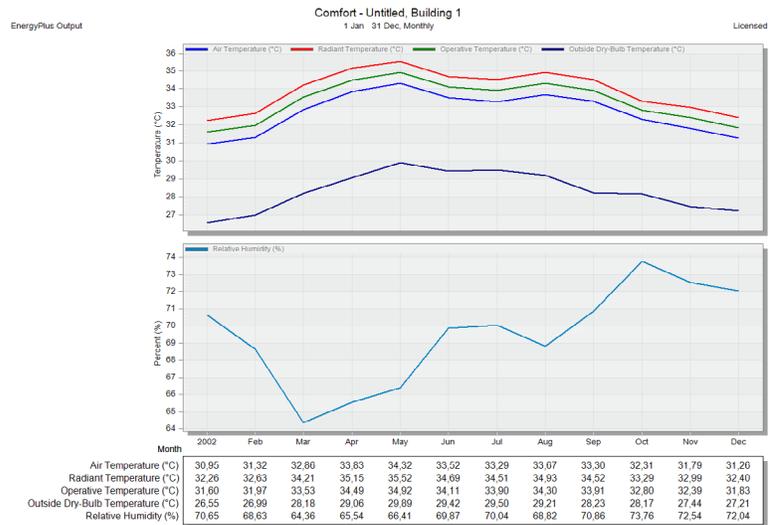


Figura 13. Resultados temperatura clima 2100 RCP 2,6 - estrategias pasivas (fuente: Design Builder, 2022).

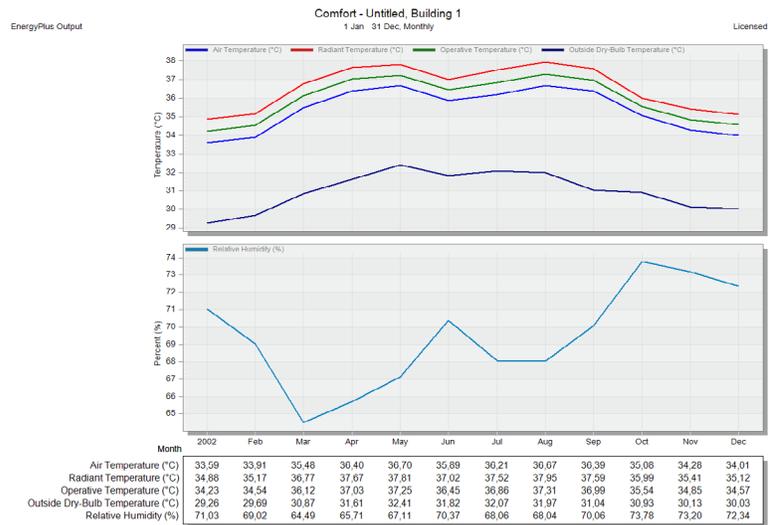


Figura 14. Resultados temperatura clima 2100 RCP 8,5 - estrategias pasivas (fuente: Design Builder, 2022).

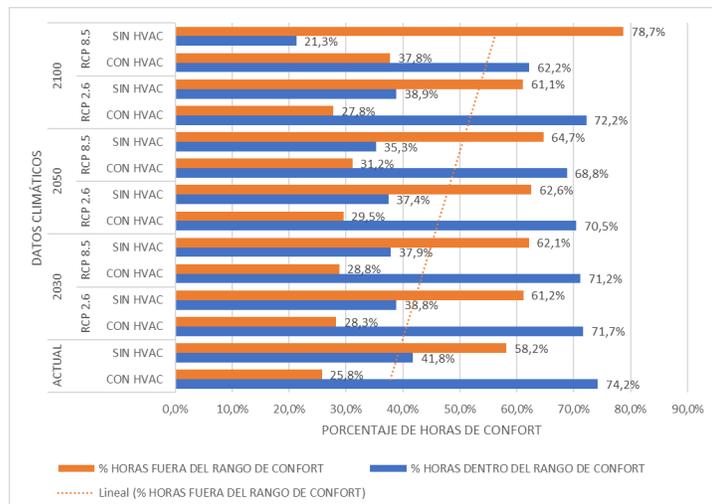


Figura 15. Resultados horas de confort para todos los climas (fuente: elaboración propia, 2022).

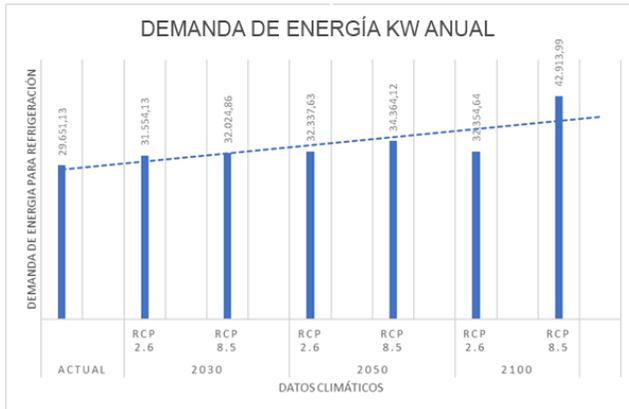


Figura 16. Demanda de energía total anual para cada clima (fuente: elaboración propia, 2022).

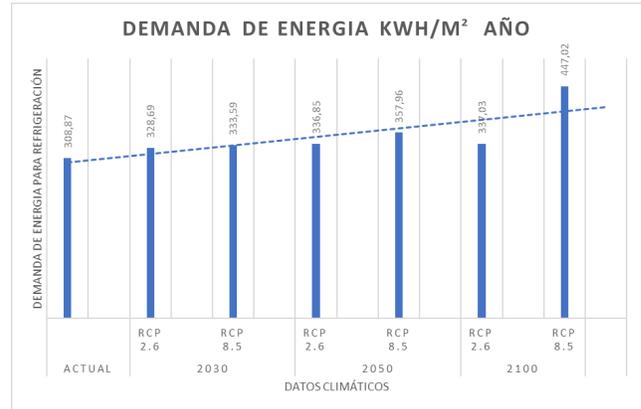


Figura 17. Demanda de energía anual por m² para refrigeración (fuente: elaboración propia, 2022).

sus estrategias para reducir la demanda energética y mejorar el confort térmico. Además, los estudios han demostrado que los escenarios de cambio climático con mayor impacto podrían afectar el confort térmico, al reducir significativamente las horas de confort en climas cálidos, y al aumentar el uso de sistemas de refrigeración y la demanda energética. Esto sugiere que los futuros

estudios deberían considerar estándares alternativos adaptados a las peculiaridades locales, así como la aplicación de dichos criterios a la particularidad de proyectos arquitectónicos. En suma, el presente estudio presenta oportunidades para su aplicación en contextos similares, puesto que la aplicación de esta metodología de estimación de demanda de

energía en escenarios futuros puede aplicarse a otros climas no estacionales, con el fin de estimar el alcance de las decisiones de diseño que, por un lado, aportan a la mitigación de la huella de carbono de las edificaciones; y, por otro, contribuyen a su adaptación para la búsqueda de viviendas resilientes frente al cambio climático. ▲■

REFERENCIAS

- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2017). *ASHRAE standard 55-2017: thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE Inc.
- Bellia, L., Pedace, A., y Fragliasso, F. (2015). The role of weather data files in climate-based daylight modeling. *Solar Energy*, 112, 169-182. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.11.033>
- Bienvenido, D., Rubio, C., Marín, D., y Canivell, J. (2021a). Influence of the Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios on the bioclimatic design strategies of the built environment. *Sustainable Cities and Society*, 72, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103042>
- Bienvenido, D., Rubio, C., Pérez, A., y Pulido, J. (2020). Energy saving potential in current and future world built environments based on the adaptive comfort approach. *Journal of Cleaner Production*, 249, 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119306>
- Bienvenido, D., Sánchez, D., Rubio, C., y Pulido, J. (2021b). Applying the mixed-mode with an adaptive approach to reduce the energy poverty in social dwellings: the case of Spain. *Energy*, 237, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121636>
- Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., y Tumminia, G. (2018). Climate change and the building sector: modelling and energy implications to an office building in southern Europe. *Energy for Sustainable Development*, 45, 46-65. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.esd.2018.05.001>
- César, S., May, C., Carval, V., Ann, S., Taylor, G., y Jay, B. (2003). *San Andrés Islas. Seguimiento y evaluación - POT 2003*. <https://www.consejodeestado.gov.co/documentos/boletines/118/SI/88001-23-31-000-2005-00067-02.pdf>
- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible [CCCS]. (2022). *Hoja de ruta nacional de edificaciones neto cero carbono*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Fonseca, L., y Saldarriaga, A. (1985). *Cuadernos PROA 7. Vivienda en madera en San Andrés y Providencia*. Ediciones PROA Ltda.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2014). *Cambio climático 2014. Informe de síntesis*. OMM.
- Huang, J., y Gurney, K. (2016). The variation of climate change impact on building energy consumption to building type and spatiotemporal scale. *Energy*, 111, 137-153. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.118>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2017). *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático - Resumen Ejecutivo*. IDEAM.
- Kikumoto, H., Ooka, R., Arima, Y., y Yamanaka, T. (2015). Study on the future weather data considering the global and local climate change for building energy simulation. *Sustainable Cities and Society*, 14(1), 404-413. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.007>
- Sánchez, C. (2009). *The last China closet. Arquitectura, memoria y patrimonio en la Isla de San Andrés*. Universidad Nacional de Colombia.
- Varini, C. (2015). Calidad de vida en la vivienda social de San Andrés, Colombia, mediante la gestión bioclimática de flujos de aire. *Nodo: Arquitectura. Ciudad. Medio Ambiente*, 10(19), 101-110. <https://revistas.una.edu.co/index.php/nodo/article/view/129>
- Zhai, Z., & Helman, J. (2019). Implications of climate changes to building energy and design. *Sustainable Cities and Society*, 44, 511-519. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.043>