XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8986

Habitabilidad en el patrimonio desaparecido, simulación digital cualitativa y cuantitativa: casa Ambrosina de Borrero (Cali, 1953)

Habitability in Vanished Heritage, Qualitative and Quantitative Digital Simulation. Ambrosina de Borrero House (Cali, 1953).

Rodrigo Vargas-Peña
Universidad del Valle | Cali | Colombia | rodrigo.vargas@correounivalle.edu.co
Ernesto Germán Porras-Beltrán
Universidad del Valle | Cali | Colombia | ernesto.porras@correounivalle.edu.co
María Andrea Triana-Montes
DUX Arquitectura-Ingeniería Bioclimática | Florianópolis | Brasil | mandreatriana@gmail.com
Liliana Clavijo-García
Universidad del Valle | Cali | Colombia | liliana.clavijo@correounivalle.edu.co
Andrés Felipe de los Ríos-Arce
Universidad del Valle | Cali | Colombia | andres.delosrios@correounivalle.edu.co

Resumen

Se analiza el alcance de la simulación digital para el estudio y puesta en valor del patrimonio arquitectónico moderno desaparecido, centrándose en la casa Ambrosina de Borrero (Cali, 1953). Se propone un doble enfoque de análisis que integra la domesticidad y el confort como dimensiones de la habitabilidad. Se presentan las consideraciones conceptuales y la metodología que estructura el proceso, la documentación, los procesos de modelado diferenciados para cada componente de análisis y los medios definidos para la difusión de la información producida. Los resultados abordan la simulación digital como forma de producción de nuevo conocimiento sobre el patrimonio, como estrategia de estudio para trascender la historiografía tradicional y para democratizar el acceso a las piezas patrimoniales desaparecidas.

Palabras clave: Patrimonio Arquitectónico. Simulación Digital. Realidad Virtual. Confort. Habitabilidad.

Abstract

This study analyzes the scope of digital simulation for the study and promotion of lost modern architectural heritage, focusing on the Ambrosina de Borrero House (Cali, 1953). It proposes a dual analytical approach that integrates domesticity and comfort as dimensions of habitability. The paper presents the conceptual considerations and methodology that structure the process, the documentation, the distinct modeling processes for each component of the analysis, and the means defined for disseminating the information produced. The results address digital simulation as a means of generating new knowledge about heritage, as a research strategy to transcend traditional historiography, and to democratize access to lost heritage assets.

Keywords: Architectural Heritage. Digital Simulation. Virtual Reality. Comfort. Habitability.

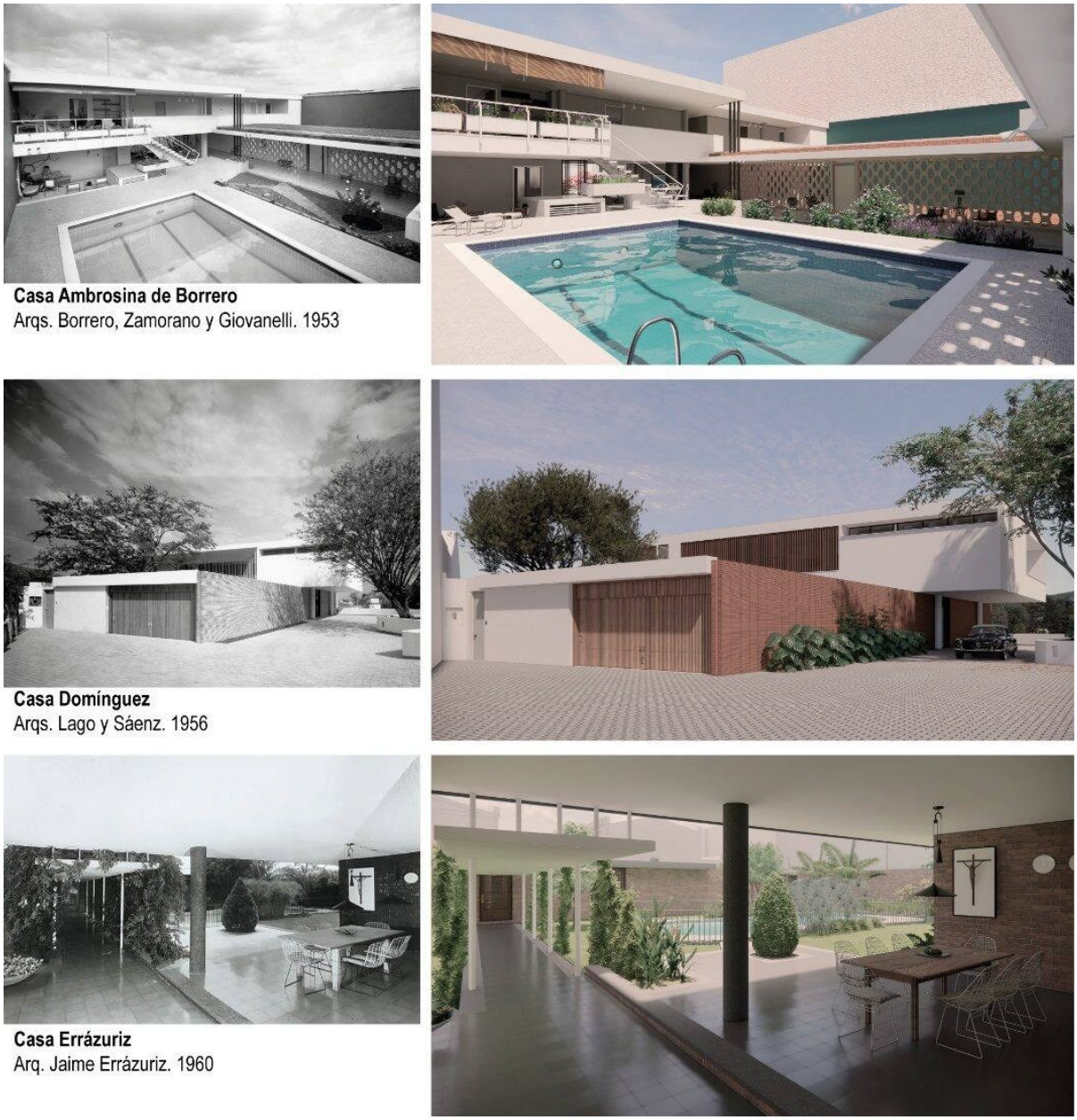
Como citar:
VARGAS-PEÑA, et al. Habitabilidad en el patrimonio desaparecido, simulación digital cualitativa y cuantitativa: casa Ambrosina de Borrero (Cali, 1953). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8986

INTRODUCCIÓN

En la arquitectura producida en Cali, Colombia, entre 1930 y 1950, destaca una serie de casas por su adaptación del lenguaje moderno internacional al clima, paisaje y tecnologías constructivas locales. Algunas de estas obras se conservan, pero muchas han sido demolidas o sufrido severas trasformaciones (Figura 1). En su época estas obras fueron reseñadas en publicaciones nacionales e internacionales [1][2][3] (Figura 2), y hoy siguen siendo objeto de reconocimiento a través de estudios sobre la arquitectura moderna local y sus autores [4][5], la arquitectura residencial [6], o su desempeño ambiental [7][8].

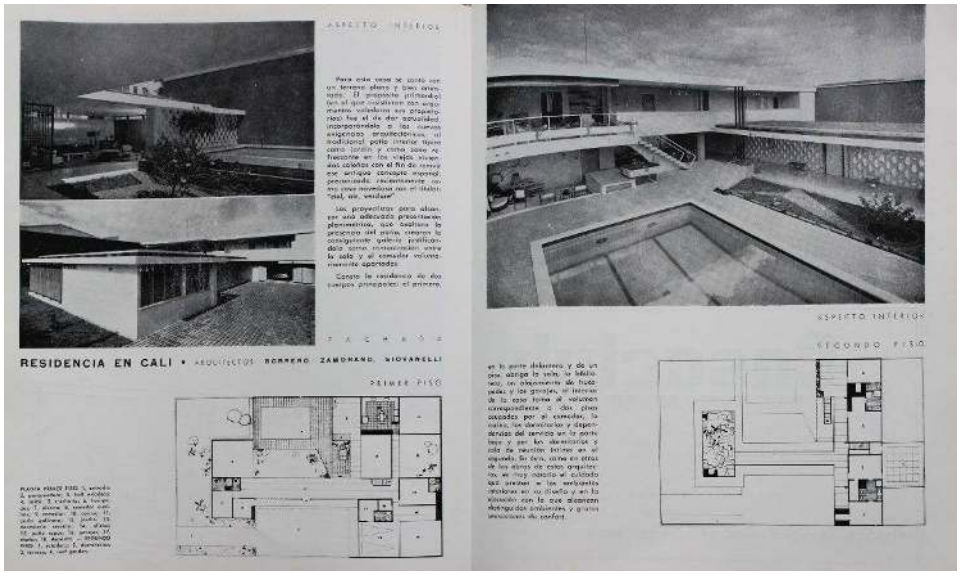
Figura 1. Casos de estudio. Izquierda: fotos originales. Derecha: reconstrucciones digitales.



Fuente de fotografías: Archivo Otto Moll. Banco de la República. Colombia. Fuente renders: Autores

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8986

Figura 2. Casa Ambrosina de Borrero (1953) Arqs. Borrero, Zamorano y Giovanelli.



Fuente: Revista Proa 127. Colombia (1958)

En casas desaparecidas o transformadas, la experiencia directa del espacio ya no es posible. En consecuencia, los estudios sobre ellas suelen apoyarse en información planimétrica y fotográfica en publicaciones y archivos particulares. En estas condiciones, los análisis sobre la habitabilidad, entendida como la capacidad del entorno construido para brindar condiciones de salud, bienestar y confort, se basan en interpretaciones de datos de fuentes secundarias. En el mismo sentido, las valoraciones sobre su desempeño se apoyan usualmente en inferencias generales sobre la ventilación, control solar o estrategias pasivas, que constituyen lecturas simplificadas del problema ambiental a partir de la observación directa de la configuración arquitectónica en la información gráfica. Otros aspectos esenciales en el análisis de habitabilidad —como la percepción de los sistemas espaciales interiores, la relación entre interior y paisaje, las estructuras sociales de los habitantes y el papel del mobiliario y objetos cotidianos— representan vacíos significativos en la historiografía.

El proyecto “Re-Existencia y Re-Habitación virtual digital, el espacio doméstico de la arquitectura moderna - Cali, 1953-1960” [9] (Figura 1), explora el potencial de la simulación digital para poner en valor el patrimonio arquitectónico desaparecido, a través de la restitución de tres casas construidas entre 1953 y 1960, posteriormente desaparecidas o transformadas. El proyecto propone trascender el paradigma de la representación como estrategia de documentación que implica la codificación y abstracción de información gráfica, en favor del paradigma de la simulación, entendida como la producción de un escenario reactivo que permite una experiencia artificial percibida como real [10].

Bajo esta premisa se analiza la habitabilidad de las tres viviendas desde una lectura de su sentido de domesticidad, como percepción de la atmósfera íntima del hábitat. Para uno de los tres casos el análisis de la habitabilidad se complementó con una lectura de confort ambiental. Se trata de la Casa Ambrosina de Borrero, construcción de 587 m2

en dos pisos, realizada en 1953 por la firma Borrero, Zamorano y Giovanelli (Figuras 1 y 2) en un sector residencial de clase alta al norte de Cali, proyecto reseñado a continuación.

METODOLOGÍA: RE-EXISTENCIA Y RE-HABITACIÓN DIGITAL

Las nociones de Re-Existencia y Re-Habitación estructuran metodológicamente el estudio. La Re-Existencia consiste en la construcción de instancias virtuales de la obra por medio de un modelo 3D digital siguiendo distintos parámetros según su propósito. La Re-Habitación, por su parte, se relaciona con el despliegue y puesta en circulación de la información producida, con el objetivo de su apropiación social. Este proceso implicó la extracción, procesamiento y curaduría de información analítica sobre el caso de estudio, y su posterior despliegue en dos medios: una página web y una exposición itinerante que involucran niveles crecientes de complejidad perceptiva: imagen, video, panoramas 360° y experiencias de realidad virtual.

SIMULACIÓN CUALITATIVA: PERCEPCIÓN DE DOMESTICIDAD

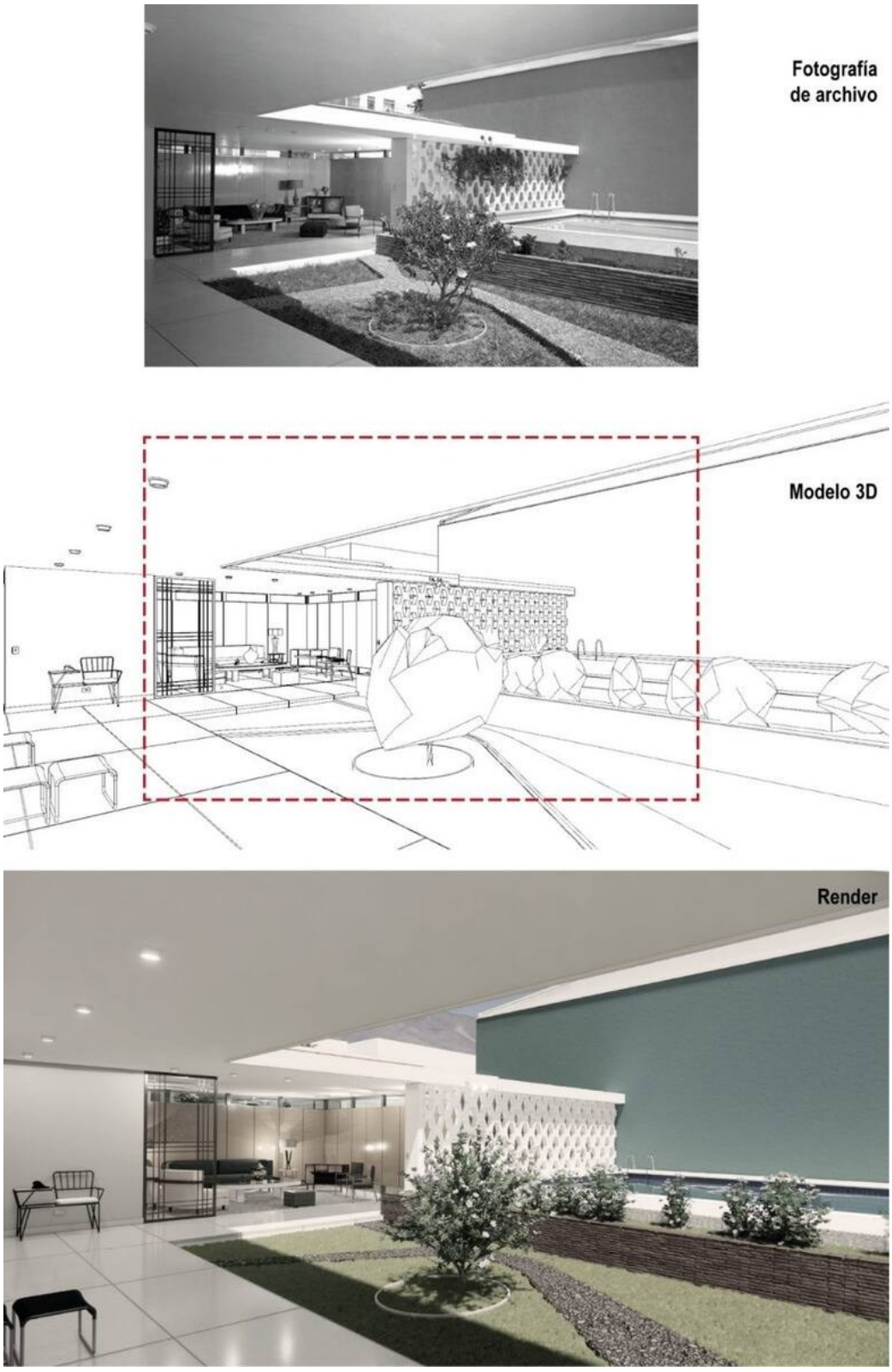
La restitución del sentido de domesticidad implicó la construcción de un modelo 3D de la vivienda como una instancia completa, comprehensiva y detallada de la obra original, a fin de generar una experiencia plausible de su espacialidad. Se empleó Autocad para los trazados iniciales y Rhinoceros para el modelado 3D dada su versatilidad para la generación de geometrías ortogonales en elementos arquitectónicos y orgánicas en muebles y otros elementos. El proceso de modelado se ajustó a cuatro parámetros:

- Reconstrucción fidedigna de la arquitectura original, privilegiando la información fotográfica sobre información planimétrica en caso de discrepancias.
- Detallado exhaustivo de los elementos arquitectónicos interiores.
- Contextualización de la casa en el entorno urbano actual, ejercicio de transposición histórica que permite visualizar la vivienda como si subsistiera en su lugar.
- Ambientación completa interior, incluyendo muebles y objetos cotidianos que aportan al sentido de domesticidad y a la lectura de escala.

El mayor desafío para el modelado fue producir, a partir de la información fragmentada, un modelo 3D que reprodujera todo el sistema espacial de la vivienda. La información de base fueron las plantas arquitectónicas, precariamente detalladas, y una serie de cuatro fotografías de excelente calidad — una exterior y tres interiores— tomadas por el fotógrafo Otto Moll en la época que la vivienda estuvo habitada. Esta información fue interpretada y extendida para establecer el aspecto y ambientación de los demás espacios, entendiendo que el sentido de la domesticidad depende de la percepción no solo desde las vistas privilegiadas de los espacios sociales reproducidas en las fotos, sino también del aspecto de las zonas privadas y de servicio. Este ejercicio implicó, no solo la extracción minuciosa de toda la información en fotos y planimetrías disponibles, sino el uso de referencias adicionales, como otras obras de los mismos

arquitectos o de otros arquitectos de la época, así como entrevistas con visitantes eventuales de la vivienda (Figura 3).

Figura 3. Casa Ambrosina de Borrero. Construcción del modelo a partir de referencias fotográficas.



Fuente fotografía: Archivo Otto Moll. Banco de la República. Colombia. Fuente render: Autores

El modelo 3D es la nueva fuente documental sobre la vivienda. Esta nueva información, producida con el software *Enscape* y la suite *Abobe* para edición de imagen y video, se despliega en la página web y la exposición itinerante, complementada con reseñas, mapas, archivo fotográfico y planimetrías actualizadas. En la página web y la exposición se busca que la percepción de domesticidad emerja del diálogo sensible del visitante con la vivienda. Para ello, la información se organiza en una secuencia que profundiza progresivamente su condición inmersiva, avanzando desde la imagen fija (renders, fotografías y planimetrías) que aportan información de contexto y detalles; videos, que reproducen secuencias espaciales significativas; panoramas 360°, que permiten una experiencia inmersiva estática de algunas estancias; y visualizaciones en realidad virtual con dispositivos HMD (*Head Mounted Display*), en las que el visitante define en tiempo real un recorrido por la vivienda.

SIMULACIÓN CUANTITATIVA: CONFORT Y DESEMPEÑO TÉRMICO

Los modelos digitales para la simulación bioclimática reproducen la misma configuración arquitectónica de los destinados al análisis de domesticidad. Sin embargo, para el análisis de desempeño el nivel de detalle del modelo no se asocia con la reproducción rigurosa de volumetrías ni la presencia de elementos secundarios o mobiliario, sino con la construcción independiente de cada recinto por medio de superficies a las cuales se asignan diferentes propiedades físicas (Figura 4). Los modelos para los cálculos de confort corresponden también a hipótesis de restitución basadas en las plantas y fotografías originales, a partir de las cuales se produce un modelo 3D integral, siendo necesario un proceso de inferencia e interpretación creativa para completar la configuración de los espacios no documentados fotográficamente en cuanto a materialidad, acabados y dinámicas de uso.

La plataforma *Rhinoceros-Grasshopper* empleada en las simulaciones de desempeño permitió trabajar la configuración arquitectónica y el análisis ambiental en un mismo flujo paramétrico, condición particularmente útil en la casa estudiada, donde el comportamiento térmico y lumínico depende enteramente de la tipología arquitectónica. Los análisis se realizaron bajo el modelo de confort adaptativo de la norma ASHRAE 55 versión 2010 con el archivo climático *COL_VAC_Cali-Aragon.Intl.AP.802590_TMYx_1980.epw,* el cual contaba con los datos más próximos a la época de construcción de la casa, para el cálculo de temperatura exterior, humedad relativa, radiación directa normal, velocidad y dirección del viento.

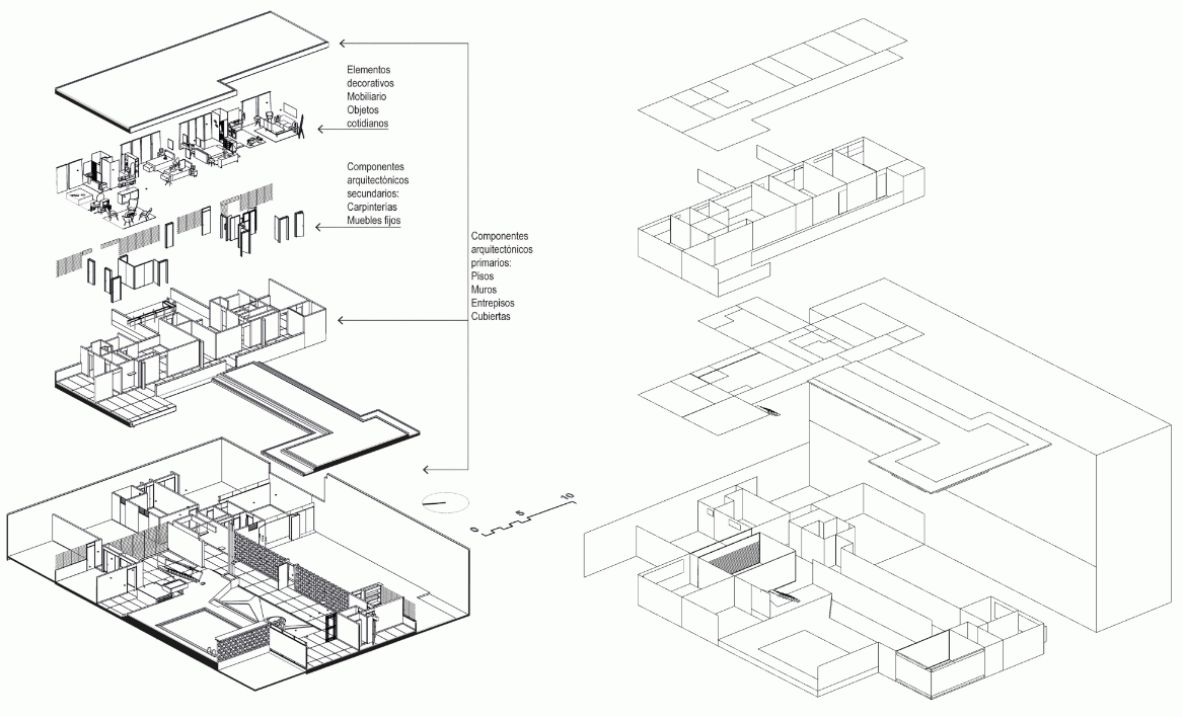
En cuanto a las condiciones termo-físicas de los materiales, se asumieron propiedades típicas de los sistemas constructivos de la época: muros en ladrillo macizo revocados (U=3,21 W/m²K y CT=233 kJ/m²K), y losas de cubierta en concreto aligerado con una capa vegetal (U=1,86 W/m²K y CT=310 kJ/m²K).

Se determinaron franjas horarias de uso diferenciadas para las alcobas familiares y de servicio, cocina, salón y comedor social, según los hábitos de uso esperados en un grupo familiar de clase alta y su personal de servicio en Cali en 1953. Con estos horarios y los datos climáticos disponibles se configuró el sistema para el cálculo de ventilación

natural, atendiendo además a los tipos de ventanas y muros perforados visibles en las fotografías.

Con el análisis climático base anual se desarrollaron estudios de temperatura operativa interna de los recintos (Figura 5) con los resultados confrontados con relación al confort adaptativo. Igualmente fueron realizados análisis de radiación directa por franjas horarias considerando horas de sol anual, análisis con relación a vistas de calidad, sombras y máscaras solares, estos últimos no mostrados en este artículo por cuestiones de espacio.

Figura 4. Casa Ambrosina de Borrero. Izquierda: modelo 3D para análisis de domesticidad. Derecha: Modelo para análisis de confort.



Fuente: Autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

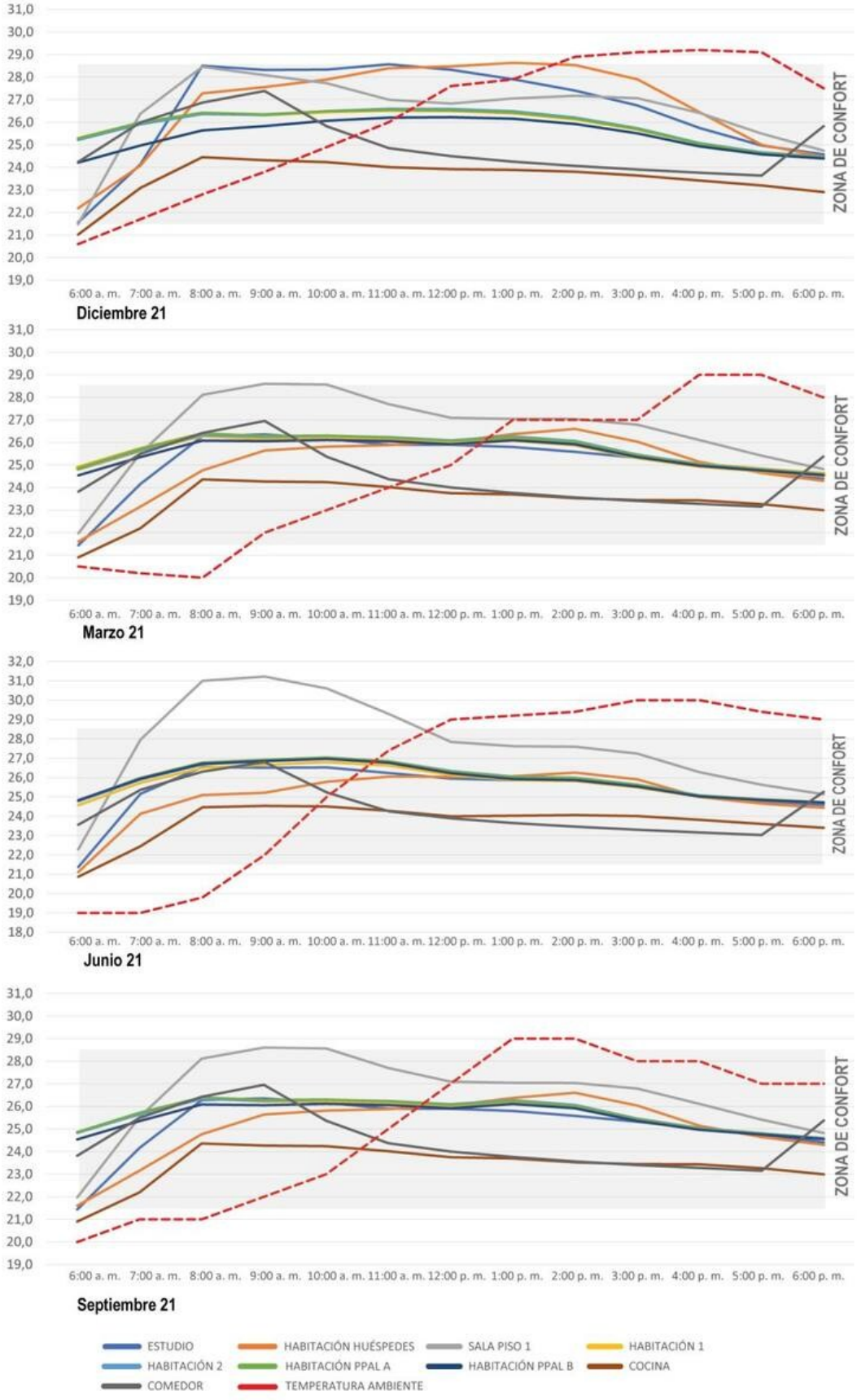
El enfoque de análisis de habitabilidad, integrando la percepción de domesticidad con el cálculo de confort, implicó dos cursos paralelos de producción de datos basados en procesos de simulación y visualización, siendo el modelo digital 3D el escenario artificial donde tiene lugar una percepción subjetiva de la domesticidad, por un lado, y los fenómenos físicos relacionados con el desempeño ambiental, por el otro. La desaparición física de la obra justifica el esfuerzo de su reconstrucción digital, pero constituye la limitación más significativa para la producción de datos ciertos sobre su habitabilidad. En consecuencia, las versiones producidas requirieron referencias adicionales y un ejercicio riguroso de inferencia a partir de la información disponible, en procura de modelos 3D continuos y completos que recrearan una versión de la vivienda original.

El modelo para análisis de la domesticidad, atendiendo a su cometido fenomenológico, no pretende la verificación de una hipótesis específica sobre el caso de estudio, sino la apropiación social de una pieza patrimonial desaparecida. En ese sentido, la restitución digital se plantea como un campo abierto a la lectura de cada visitante que, en la exposición itinerante, entra en contacto directo con el espacio de la vivienda y define una secuencia de percepción en tiempo real mediante realidad virtual inmersiva. En esta experiencia, el usuario proyecta un tipo de corporalidad digital que le permite captar, no solo la forma del espacio, sino una noción subjetiva de domesticidad transmitida por los fenómenos naturales percibidos visualmente como la luz, la sombra o el movimiento del aire, y por la presencia del mobiliario, decoración y objetos familiares o cotidianos.

Los análisis de desempeño, en cambio, sí buscan la verificación matemática de una hipótesis que sugiere un alto nivel de eficiencia en la adaptación de la arquitectura moderna de la época al clima local. Esta hipótesis es confirmada de forma general en el caso Ambrosina de Borrero, estableciéndose que este desempeño se debe a decisiones arquitectónicas concretas: la relación entre patios, corredores, sombras, orientación, materialidad, cubiertas vegetadas, ubicación de los espacios y la posibilidad de ventilación natural, que producían condiciones diferenciadas para cada recinto. Algunos resultados pueden ser resaltados:

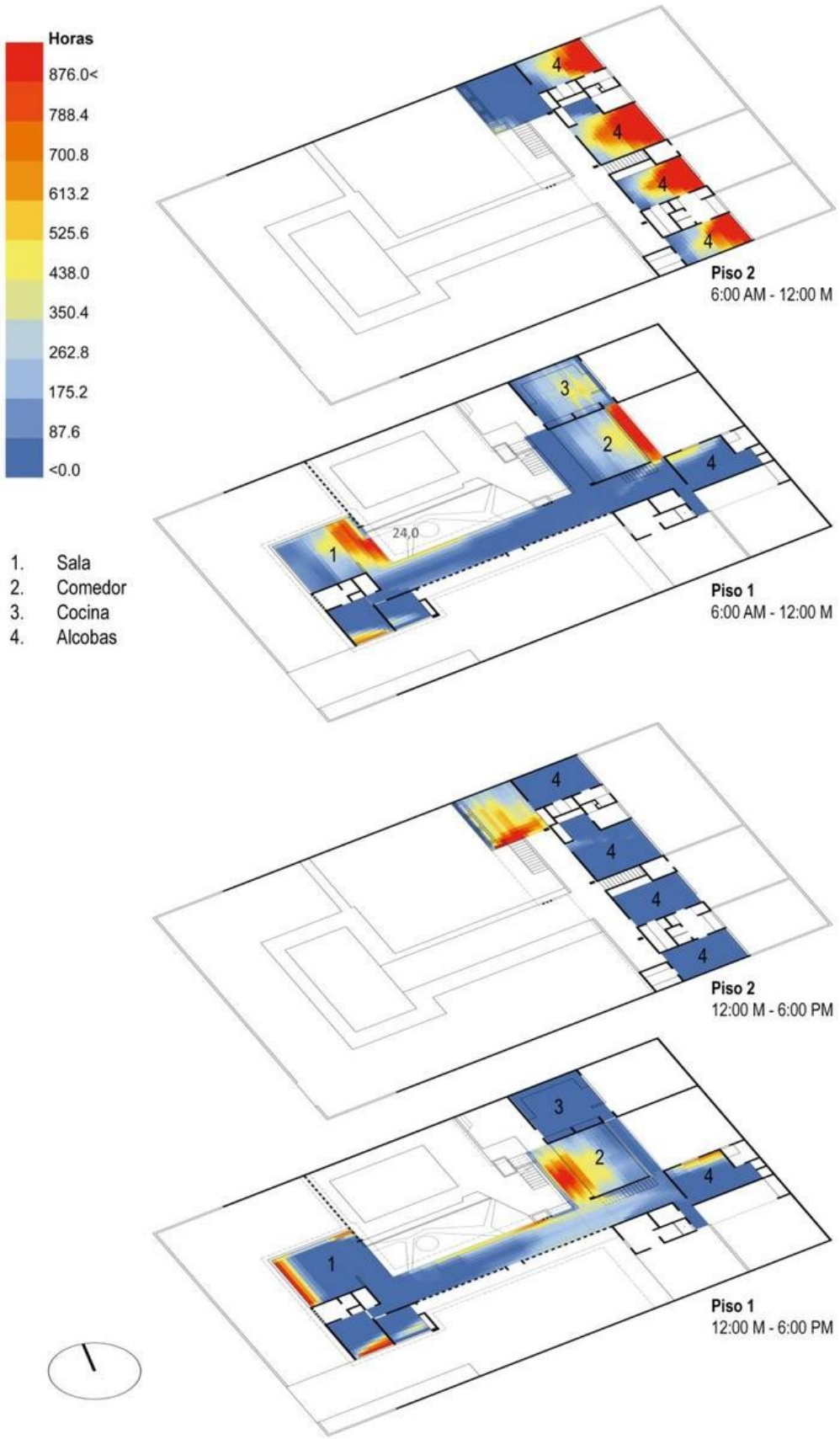
- La temperatura operativa por recintos (Figura 5), revela espacios en rangos favorables durante sus franjas de ocupación, con picos de temperatura en horarios específicos en espacios de alta actividad, como la cocina. Otros espacios, con configuraciones arquitectónicas más abiertas como el comedor, tienen condiciones muy diferenciadas de confort a lo largo del día.
- En el cálculo de confort adaptativo se presentaron porcentajes variables de personas en confort según espacio y horario, con valores entre 26,8% y 96,5%. Los mejores comportamientos se observan en recintos y franjas donde la arquitectura reduce la exposición solar directa o donde el uso coincide con condiciones térmicas más estables.
- El cálculo de horas de sol anual (Figura 6), radiación y sombras permitió identificar la efectividad de los recursos arquitectónicos empleados en la casa para la protección solar, y establecer el impacto de la incidencia solar según los horarios efectivos de uso de los espacios.
- El análisis de la ventilación natural potencial en relación con la configuración arquitectónica y los vientos predominantes, aun en ausencia de una simulación detallada CFD, confirma la apreciación generalizada en la literatura acerca del correcto funcionamiento de la ventilación natural en la vivienda, precisando las horas en que esta influencia es más positiva.
- El análisis geométrico y cuantitativo de vistas de calidad y cono de visión proveyó mapas y porcentajes asociados a la calidad de vista o exposición visual desde distintos espacios, permitiendo complementar la lectura de habitabilidad, no solo desde temperatura y asoleamiento, sino desde la relación visual con patios y áreas exteriores.

Figura 5. Casa Ambrosina de Borrero. Gráficas de temperatura operativa Vs. Temperatura exterior



Fuente: Autores

Figura 6. Casa Ambrosina de Borrero. Gráficas de horas de incidencia solar anual por franja horaria en Wh/m2



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que la agresiva intervención sufrida por la vivienda imposibilita verificar su funcionamiento bioclimático original, el estudio considera que, a pesar de haber transformaciones tanto en su entorno urbano como en el clima local, es posible establecer con el análisis bioclimático retroactivo una hipótesis muy aproximada acerca de cuál sería su desempeño en términos de confort, demostrando que su configuración original mantendría una respuesta ambiental coherente con el clima de Cali y con la forma en que podría ser habitada hoy.

Figura 7. Profundidades de inmersión en la exposición itinerante. 1.Imagen fija. 2. Video. 3. Panoramas 360. 4. Realidad Virtual



Fuente: Autores

Las simulaciones indican que las condiciones de confort en la casa no eran homogéneas a lo largo del año ni durante todas las horas del día, sino variables y estrechamente vinculadas a las dinámicas del uso doméstico. Mientras que las habitaciones del segundo piso alcanzaron una lectura de confort adaptativo óptima, las estancias en el primer piso tienen un desempeño más heterogéneo: el comedor registró una alta eficiencia adaptativa pese al aumento térmico vespertino por su orientación al oeste. La sala, estudio y alcoba de huéspedes mostraron niveles intermedios según sus condiciones de ventilación, y la cocina obtuvo el rendimiento más bajo debido a sus cargas internas. Los datos obtenidos muestran que los recintos de la vivienda permanecen la mayor parte del tiempo dentro de la zona de confort, considerando los límites de la norma ASHRAE-55 para confort adaptativo con aceptabilidad de 80% (Figura 5). Esto demuestra el acierto de la configuración espacial de la vivienda, su materialidad y el manejo de sombras como determinantes de las

condiciones térmicas favorables en las franjas horarias más relevantes de la vida familiar, lo cual se alinea científicamente con la percepción historiográfica sobre su eficacia bioclimática.

La página web y los montajes de la exposición itinerante en tres ciudades en Colombia (Figura 7) contribuyeron a la puesta en valor de la obra, por parte de un público superior a las 600 personas que tuvo la posibilidad de apreciar la domesticidad y el confort como dimensiones correlacionadas de la habitabilidad. La experiencia inmersiva, complementada con los datos de desempeño, permite al visitante entender que los fenómenos perceptibles en la atmósfera intima de la vivienda son expresiones visuales de los procesos físicos que determinan el confort y que varían de un espacio al otro a lo largo del día. Es en esa intersección entre dato y experiencia donde la simulación digital trasciende sus usos convencionales y se constituye en una forma de conocimiento arquitectónico inédita, capaz de potenciar la comprensión técnica y la valoración patrimonial de la obra.

CONCLUSIONES

En el contexto de los estudios sobre el patrimonio la simulación digital puede tener un alcance mayor al de la preservación documental, posicionándose como estrategia de producción de información cuantitativa y cualitativa sobre el objeto valorado. Al revelar datos inéditos sobre la obra trasciende la documentación historiográfica tradicional basada en imágenes y planimetrías, y se presenta como una oportunidad para democratizar el acceso al patrimonio, promoviendo su apropiación social al margen de ejercicios de catalogación y curaduría oficiales.

El proyecto no se plantea como un estudio exhaustivo del conjunto de la arquitectura moderna de Cali durante los 1950s, sino como una exploración acerca del alcance de los medios de simulación digital para el estudio del patrimonio arquitectónico desaparecido, desde la perspectiva de la habitabilidad. En este contexto, las tecnologías avanzadas de modelado y visualización, y las estrategias de circulación de resultados permitieron al público construir un juicio personal acerca de los valores asociados al sentido de domesticidad.

En cuanto al análisis de desempeño, la simulación digital y la metodología empleada en el análisis permitieron formular una hipótesis de restitución de las condiciones de desempeño de la vivienda que, si bien aporta una base científica a las valoraciones previas de la eficacia en sus estrategias arquitectónicas, se habría beneficiado de una mayor cantidad y calidad de datos acerca de la vivienda en cuanto a su configuración, materialidad, detalles y hábitos cotidianos de sus habitantes. Esta hipótesis restitutiva se podría complementar, en futuros estudios, con análisis más detallados de la ventilación natural interior que incorporen simulaciones CFD para obtener lecturas más precisas de la incidencia de la configuración arquitectónica en el medio local, así como con simulaciones más detalladas de confort lumínico.

Los medios digitales aplicados a la generación, procesamiento, visualización de información espacial y análisis de desempeño, constituyen recursos irreemplazables en la investigación sobre el patrimonio en la actualidad. El proyecto demuestra como la Re-Existencia propuesta, entendida como categoría epistemológica, asume la imposibilidad de una recuperación mimética, demandando la intervención, insustituible aún, de la intuición, el criterio y la creatividad del investigador para la integración de información pertinente a los casos de estudio mediante un riguroso ejercicio de interpretación fundamentada.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle.

DECLARACIÓN

Durante la preparación de este artículo, el primer autor utilizó la herramienta Gemini para la traducción, y revisión de formato del texto. Tras utilizar la herramienta los autores revisaron y editaron el contenido según fue necesario y asumen toda la responsabilidad por el contenido del artículo publicado.

REFERENCIAS

[1] **L'ARCHITECTURE D'AUJOURD'HUI**. Boulogne: [s. n.], n. 89, 1958.

[2] **PROA**. Bogotá: Carlos Martínez, n. 120, 1958.

[3] **PROA**. Bogotá: Carlos Martínez, n. 127, 1958.

[4] TASCÓN, R. **La arquitectura moderna en Cali: la obra de Borrero, Zamorano y Giovannelli**. Cali: Fundación Civilis, 1995.

[5] RAMÍREZ, F.; CLAVIJO, L.; GUTIÉRREZ, J. **Lago & Sáenz: la materia y el vacío**. Cali: Universidad del Valle, 2020.

[6] BUITRAGO, P.; GÓMEZ, P. **Casas modernas en Cali: modelos y paradigmas**. Cali: Universidad del Valle, 2011.

[7] GALINDO-DÍAZ, J.; OSUNA-MOTTA, I.; MARULANDA-MONTES, A. De componer la fachada a diseñar la envolvente: el ejemplo del arquitecto Juvenal Moya en Cali. **Revista de Arquitectura**, Bogotá, v. 22, n. 1, p. 94-106, 2020. Disponible en: https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2776. Acceso el: 24 mayo 2026.

[8] OSUNA-MOTTA, Iván; WEGERTSEDER, Paulina; STEVENSON-RODRIGUEZ, Carolina. Método para la selección de casos de estudio: adaptación climática del Movimiento Moderno en el clima cálido ecuatorial. **Hábitat Sustentable**, Concepción, v. 11, n. 1, p. 34-47, 2021.

[9] Re-existencia y re-habitación virtual digital, el espacio doméstico de la arquitectura moderna - Cali, 1953-1960. Cali: Universidad del Valle, [2024]. Disponible en: https://www.reexistenciavirtual-arq-univalle.com/. Acceso el: 23 mayo 2026.

[10] SCHEER, D. **The death of drawing**: **architecture in the age of simulation**. London: Routledge, 2014. p. 31.