

Metodología para valoración del patrimonio construido: una mirada desde la relación sol-edificio. Caso de estudio: Universidad del Valle

Methodology for the Assessment of Built Heritage: a View from the Sun-Building Relationship. Case Study: Universidad del Valle

Recibido: febrero 13 / 2023 • Evaluado: febrero 24 / 2023 • Aceptado: noviembre 11 / 2023

CÓMO CITAR

Giraldo-Castañeda, W., Guerrero -Torrenegra, A. J., & De los Ríos-Arce, A. F. (2024). Metodología para valoración del patrimonio construido: una mirada desde la relación sol-edificio. Caso de estudio: Universidad del Valle. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 26(2), 219-234. <https://doi.org/10.14718/REVARQ.2024.26.5082>

Walter Giraldo-Castañeda*

Docente de la Escuela de Arquitectura de la Universidad del Valle. Cali (Colombia)
Facultad de Artes Integradas

Alejandro Guerrero-Torrenegra**

Docente de la Escuela de Arquitectura de la Universidad del Valle. Cali (Colombia)
Facultad de Artes Integradas
Centro de Investigación CITCE

Andrés Felipe De Los Ríos-Arce***

Docente de la Escuela de Arquitectura de la Universidad del Valle. Cali (Colombia)
Facultad de Artes Integradas

RESUMEN

El propósito de este artículo es presentar un método para la valoración del patrimonio construido a partir de la relación sol-edificio y divulgar la riqueza arquitectónica del conjunto de edificios de la Universidad del Valle sede Meléndez en Cali. La metodología consta de cuatro fases que emplean procedimientos y equipos de levantamiento, monitoreo ambiental, modelado virtual y análisis bioclimáticos. Este enfoque ofrece una perspectiva alternativa para valorar el patrimonio. En el caso de estudio se encontró un conocimiento profundo de los diseñadores sobre estrategias de iluminación natural y control solar, en el cual se identificó la envolvente como un dispositivo arquitectónico complejo que contribuye tanto a la estética como al confort. La metodología permite combinar enfoques cualitativos y cuantitativos en investigaciones patrimoniales, priorizando la evaluación de la calidad de la iluminación natural y la protección solar, aspectos subestimados en la valoración tradicional del patrimonio. Se destaca la importancia de usar herramientas, técnicas de representación y análisis digital para la comprensión y revaloración de la arquitectura patrimonial.

Palabras clave:

arquitectura bioclimática; envolvente arquitectónica; iluminación natural; movimiento moderno; patrimonio arquitectónico

ABSTRACT

The purpose of this article is to present a method for assessing built heritage based on the sun-building relationship and to make known the architectural richness of the buildings at the Universidad del Valle, Meléndez campus in Cali. The methodology consists of four phases employing surveying procedures and equipment, environmental monitoring, virtual modeling, and bioclimatic analysis. This approach offers an alternative perspective for assessing heritage. The case study reveals a deep understanding of designers about natural lighting strategies and solar control, identifying the envelope as a complex architectural device that contributes to both aesthetics and comfort. The methodology allows combining qualitative and quantitative approaches in heritage research, prioritizing the evaluation of natural lighting quality and solar protection, aspects underestimated in traditional heritage assessment. The importance of using tools, digital representation and analysis techniques for understanding and reassessing architectural heritage is highlighted.

Keywords:

bioclimatic architecture; architectural envelope; natural lighting; modern movement; architectural heritage

- ✦ Arquitecto, Universidad del Valle. Cali (Colombia)
Doctor en Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata (Argentina)
Magíster en Arquitectura y Urbanismo. Universidad del Valle. Cali (Colombia)
◆ <https://scholar.google.com/citations?user=62LRvHoAAAAJ&hl=en>
● <https://orcid.org/0000-0002-8542-6689>
✉ walter.giraldo@correounivalle.edu.co
- ✦✦ Arquitecto, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla (Colombia)
Doctor en Arquitectura, Universidad del Zulia. Maracaibo (Venezuela)
Maestría en Gerencia de Proyectos de Investigación y Desarrollo, Universidad Rafael Beloso Chacín. Maracaibo (Venezuela)
◆ <https://scholar.google.es/citations?user=iDTh9sQAAAAJ&hl=es>
● <https://orcid.org/0000-0003-4691-0803>
✉ alejandro.torrenegra@correounivalle.edu.co
- ✦✦✦ Arquitecto, Universidad del Valle. Cali (Colombia)
Maestría en Arquitectura, Universidad San Buenaventura. Cali (Colombia)
◆ <https://scholar.google.com/citations?user=f-rYqzIAAAAJ&hl=es>
● <https://orcid.org/0000-0003-4193-0389>
✉ andres.delosrios@correounivalle.edu.co

INTRODUCCIÓN

El presente artículo se deriva de una investigación titulada “Representación y revaloración del patrimonio arquitectónico moderno desde el estudio del aula, el caso de la Universidad del Valle”, realizada por los autores en la modalidad de presentación interna de la Escuela de Arquitectura de la Universidad del Valle.

Las metodologías para valorar el patrimonio arquitectónico tradicionalmente se centran en la investigación de temas históricos, estilísticos y artísticos de la edificación buscando comprender su contexto cultural y su significado en la historia del arte y la arquitectura (Hyeon et al., 2023). También, se ha encontrado un gran potencial en considerar aspectos sociales y económicos tales como los intereses de la comunidad local, el costo de conservación, el potencial de generación de ingresos y el impacto en la calidad de vida de la comunidad (Gravagnuolo et al., 2024).

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, la dimensión ambiental a menudo estuvo ausente en la valoración patrimonial; sin embargo, ha ganado relevancia en la medida en que crecen las crisis ambientales, la escasez energética y el calentamiento global. La exclusión del enfoque bioclimático en los procesos de valoración patrimonial no solamente desagra significados técnico e histórico a la expresión artística de la edificación para su rescate o conservación, sino que también reduce su relevancia en términos de apropiación comunitaria, de apropiación del conocimiento, de valor económico y de eficiencia energética y costos de funcionamiento y mantenimiento (Arciniega & Tapia, 2023).

Una de las consideraciones centrales y de mayor riqueza del enfoque bioclimático es, sin duda, la relación sol-edificio, que elevada a la significación patrimonial aporta reconocimiento a los saberes y acciones de los arquitectos del pasado y la forma en la cual entendieron, en determinado momento, el reto de diseñar una edificación que minimice o maximice las ganancias de radiación solar para proveer confort térmico y lumínico a sus ocupantes. Analizando esta relación, se agregan significados diferentes a las expresiones artísticas de la envolvente, al sistema constructivo y al diseño arquitectónico general (Galindo et al., 2020).

La influencia y evolución de la relación sol-edificio está marcada en las adaptaciones climáticas que diferentes culturas a lo largo de la historia han implementado en sus construcciones. Las culturas mesopotámicas, egipcias y griegas consideraron la orientación de los edificios con respecto al sol para aprovechar su luz y calor de manera óptima.

La arquitectura islámica de la edad media innovó con los patios interiores y elementos de sombra como balcones y celosías para protección solar. Más adelante, el Renacimiento y el Barroco en Europa, lograron mejorar la uniformidad y la penetración de la luz en las edificaciones mediante tragaluces, claraboyas y lucernarios, mientras que la orientación de las fachadas al sur maximizó la exposición a la radiación solar en climas más fríos (Olgyay, 1998).

Posteriormente, en el siglo XX la arquitectura moderna, con las vigas de concreto reforzado o metal y el sistema aporticado, liberó la fachada de su función estructural permitiéndole ganar relevancia como elemento de control ambiental para mejorar la habitabilidad. Como resultado de esa relación sol-edificio surgen los calados, las ventanas horizontales, las persianas, los descolgados y el famoso *brise-soleil*, cuya autoría se adjudica al famoso arquitecto Le Corbusier (Rigotti, 2014).

En contraste, también en el siglo XX la introducción de los dispositivos de aire acondicionado dio paso a una arquitectura descontextualizada del entorno climático y aparentemente restó importancia a esta relación sol-edificio. La accesibilidad y bajo costo del aire acondicionado permitieron mantener condiciones de habitabilidad independientemente de su desempeño pasivo. Este equipo permitió que incluso estructuras con deficiencias en su concepción bioclimática pudieran mantener un ambiente interior confortable, siempre y cuando se pudiera cubrir el costo asociado e ignorando los impactos ambientales de su uso intensivo de energía (Barber, 2020).

Dado que comprender no es simplificar o explicar de manera sencilla, sino, por el contrario, complejizar y evidenciar nuevas situaciones en el objeto de estudio, por delante de las clasificaciones estilísticas, funcionales y estructurales, el hecho de no incluir el enfoque bioclimático en la valoración patrimonial arquitectónica es leer incompleto el libro, leer erróneamente, ignorar y desvirtuar valores técnicos y ambientales que los autores también imprimieron en sus obras.

De esta manera, el objetivo principal de este artículo es proponer un método para comprender la relación sol-edificio como criterio para valoración patrimonial, que evalúe si el lenguaje, estilo, forma o elementos de diseño responden profundamente a esta relación o si, por el contrario, es ignorada y son elementos caprichosos o meramente ornamentales.

Como objeto de estudio se escogió analizar uno de los hitos más relevantes para la sociedad colombiana en términos de urbanismo y archi-

tectura moderna: la Universidad del Valle Sede Meléndez. Desde su creación, ha sido la institución de educación superior más importante del suroccidente colombiano en términos académicos, pero también como un ejemplo destacable en el campo de la arquitectura y el urbanismo.

Construida al inicio de los años setenta, esta ciudad universitaria ha sido divulgada en diferentes escenarios por algunos hechos históricos de gran trascendencia. En primer lugar, por tratarse de un catalizador del crecimiento urbano y laboratorio paisajístico de Cali. El campus, que contiene 38 edificios, diseñados y construidos entre 1966 y 1968 en las afueras del perímetro de la ciudad, impulsó el desarrollo de infraestructura vial de conectividad y trajo consigo la posterior urbanización del sur de Cali (Iglesias, 2022).

En segundo lugar, la particularidad en la gestión, planeación, diseño y construcción del conjunto arquitectónico. Se trató de un proyecto financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo, diseñado simultáneamente por los arquitectos Bruno Violi, Germán Samper, Fernando Martínez Sanabria, Aníbal Moreno y Camacho y Guerrero, bajo la coordinación de Jaime Cruz y Diego Peñalosa, en el cual se logró “mantener la unidad conceptual, formal, material y funcional” del recinto universitario (Jiménez, 2009, p. 137).

Tanto la Universidad del Valle de Meléndez como la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá construida en 1936 bajo estrictos principios racionalistas, se convirtieron en el paradigma nacional en la construcción de instituciones universitarias. Gracias al aporte urbano y arquitectónico del campus de Meléndez, se le galardonó con el Premio Nacional de Arquitectura en 1972 (Iglesias, 2022).

En el acta de juzgamiento, el jurado (integrado por los arquitectos Joao Villanova Artigas, Rodrigo Arboleda y René Caballero), destacó el trabajo de los grupos de arquitectos que, a pesar de las diferencias compositivas de los edificios, el campus resalta por la textura urbana que unifica las singularidades y estimula la vida universitaria, a partir de ofrecer una arquitectura del lugar (Jiménez, 2009).

Es importante resaltar que en la actualidad el campus de la Universidad del Valle sede Meléndez es reconocido como patrimonio arquitectónico moderno, por seguir la estrategia del modelo Ville Radieux de emplazar los edificios sobre una gran zona verde, distanciándose y conectándose por medio de espacio público (Rodríguez et al., 2022).

Este modelo se puede observar en el Campus de la Universidad del Valle, con las tipologías aisladas de sus bloques, que corresponde al

sistema modular y espacial reticular de 7,20 m × 7,20 m; también, porque los edificios son claros modelos de recursos arquitectónicos como la planta libre, estructura puntual, cubiertas planas, dobles y triples alturas y la ventana horizontal corrida con la protección solar de los *brise-soleil*. Se debe agregar que los recursos arquitectónicos que se utilizaron para la proyección de estos edificios se fundamentaron en:

[...] la expresión plástica del auge tecnológico: se apropia de la estética del concreto y de las posibilidades que ofrece para la experimentación formal, permitiendo con ello la realización de nuevas tipologías edificatorias indicadas para los nuevos usos, fábricas, plazas de mercado, estadios y todos aquellos que requerían el cubrimiento de grandes luces. (Jiménez, 2009, p. 118)

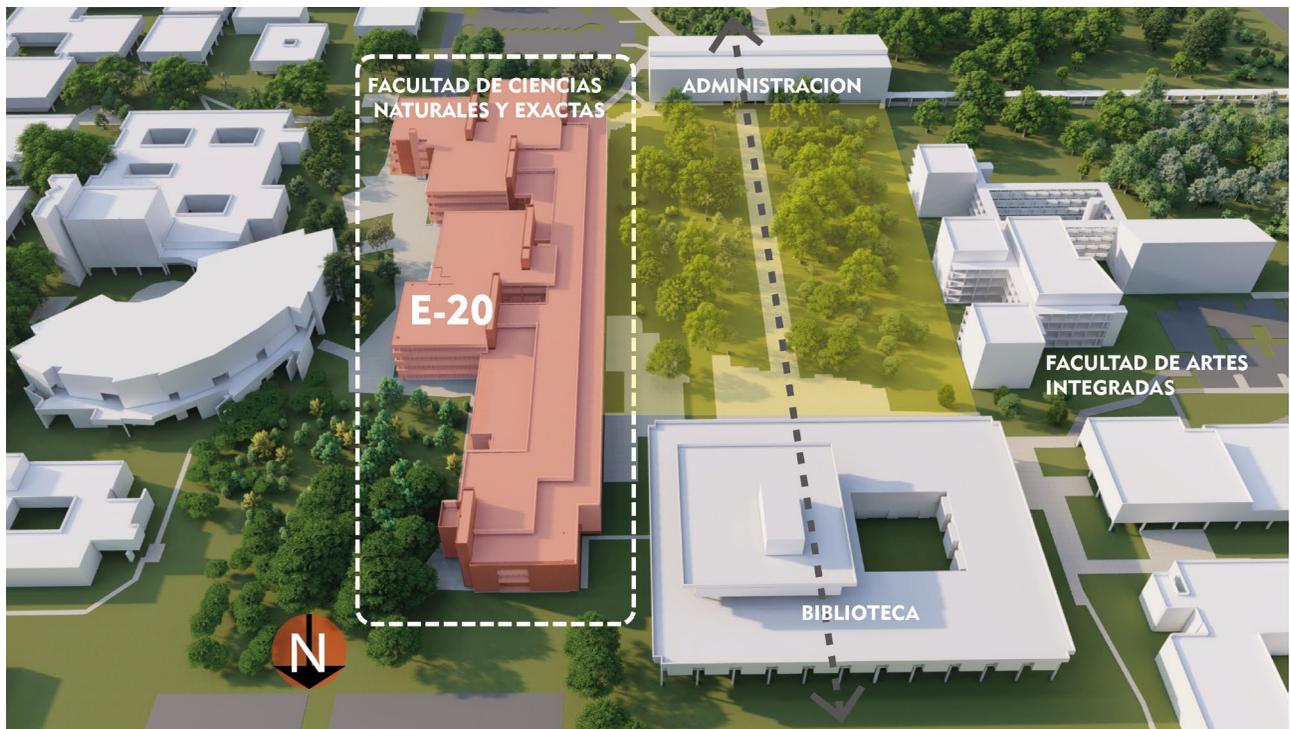
Sin embargo, estas edificaciones no cuentan con un estudio y valoración técnica que resalte y visibilice la riqueza estética, espacial, ambiental y estructural del *movimiento arquitectónico internacional* en Latinoamérica; solo se cuenta con juegos de planos de diseño, juegos de planos de registro de construcción y una reseña histórica acompañada de fotografías que presentan cada edificación elaborada por los autores Buitrago y Kattan (2011).

Una de las principales razones por las cuales se escogió este conjunto de edificaciones es porque conservar la funcionalidad y alcanzar la vida útil de sus instalaciones educativas requiere continuas actividades de mantenimiento. Cuando algunos de sus componentes presentan deterioro son a menudo intervenidos o reemplazados ignorando y afectando la funcionalidad bioclimática, desmejorando la habitabilidad y colocando así en riesgo su valor patrimonial.

El método para comprender la relación sol-edificio se aplicó específicamente en el edificio de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas (E20), diseñado y construido entre 1966 y 1971 por los arquitectos Jaime Camacho y Julián Guerrero, particularmente porque, como se muestra en la figura 1, su orientación con las fachadas más largas al este y al oeste para conformar y paramentar el eje monumental entre la Biblioteca y el Bloque de Administración Central, lo convierten en todo un desafío desde el punto de vista del asoleamiento.

Tener las mayores áreas de fachada orientadas a los puntos cardinales con mayor radiación solar implica en cuanto a lo térmico: evitar el ingreso de la radiación solar para no sobrecalentar los espacios; mientras que en lo lumínico: evitar la entrada directa del sol para eliminar el deslumbramiento y lograr adecuados y homogéneos niveles de iluminancia (Bermúdez et al., 1987).

Figura 1. Vista exterior de emplazamiento Edificio de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas (E20)



Fuente: elaboración propia (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

Este edificio es el más representativo del campus, con aproximadamente 20.000 m² construidos. Constituye un ejemplo característico de la arquitectura moderna debido a la planta libre en primer piso, estructura a la vista, cubiertas planas, dobles y triples alturas en los espacios comunes y la tridimensionalidad de la piel arquitectónica representada por el “arte de juntar, articular, tejer, entramar barras duras para conformar un armazón” que

se integra a la ventana horizontal corrida con la protección solar de los *brise-soleil* (Machado & Pérez, 2020, p. 3).

Como unidad de análisis se eligió el aula esquinera 2104 del bloque que integra el edificio E-20, ubicado en la parte nororiental de uno de los bloques que integra el edificio, precisamente porque presenta el desafío de relacionarse con el sol en las fachadas norte y este.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se empleó la metodología mixta, la cual utiliza datos cuantitativos y cualitativos (Hernández & Mendoza, 2008), enfocados en procesos descriptivos temporales y de tipo experimental.

Con el objetivo de comprender la relación sol-edificio en el Bloque de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas (E20), y resignificar su valor patrimonial, en cuanto a su diseño arquitectónico en general, se elaboró un método que combinó el enfoque bioclimático con un enfoque perceptual. El método propuesto integra los avances digitales en representación como el CAD, el BIM (Camporeale et al., 2019) y

las simulaciones ambientales, con tecnologías de monitoreo ambiental, que se fundamentaron en 4 fases: fase 1, levantar y monitorear; fase 2, modelar y virtualizar; fase 3, describir y analizar, y fase 4, discutir y diagnosticar.

La primera fase consta de un levantamiento tradicional de información del edificio, utilizando un procedimiento análogo para el registro de las medidas de los espacios interiores (Franco, 2012; Pulido, 2017) que posteriormente se digitaliza en *software* CAD y BIM (Hossam, 2019). Estos resultados alimentarán el reconocimiento de los valores espaciales, técnicos y datos representativos en lo cultural y lo funcional.

Paralelamente a este levantamiento tradicional, se llevó a cabo un monitoreo de variables macro y microclimáticas del proyecto, las cuales se ven intrínsecamente influenciadas por la acción del sol y determinan o caracterizan su desempeño térmico y lumínico. Para esto, se tuvo acceso al archivo climático EPW de la zona cálida-húmeda del Manual de Construcción Sostenible de Santiago de Cali elaborado con datos registrados en la estación meteorológica de la Escuela de Arquitectura de la Universidad del Valle entre 2018 y 2020.

Con este insumo, se realizó un diagrama de Givoni a partir de la temperatura del aire y la humedad relativa, con el fin de identificar las estrategias bioclimáticas con relación al sol aplicables al clima de la ciudad de Cali; posteriormente se utilizó el método de la máscara de sombras para revisar la estrategia de protección solar (De la Peña González & Quintero Díaz, 2011).

Dado que la iluminación natural es una pieza clave en la relación sol-edificio, se monitorearon los niveles de iluminancia (en luxes [lx]) durante los equinoccios y solsticios mediante un registrador de datos digital con luxómetro HOBO Onset MX1104 Bluetooth ubicado a una altura de 75 cm dentro del aula 2104. También se determinó la reflectividad de las superficies opacas y la transmitancia visible de los elementos traslúcidos mediante un luminómetro Konica Minolta LS-160.

En la segunda fase, con el producto de la primera, se construyeron dos modelos virtuales como insumo para el análisis: el primero con el *software* Revit y el segundo con 3Ds max, ambos de Autodesk. De estos modelos se obtuvieron representaciones virtuales de la edificación, e incluso aspectos del proyecto que no son legibles a simple vista ni en la planimetría, e incluso, ni en fotografías (Zhang et al., 2023).

En el primero se modeló la edificación, con su entorno: edificaciones y vegetación. En este modelo se imputaron las reflectividades de elementos opacos (pisos, muros, cielos, puertas, mobiliario, vegetación, marcos de ventanería) y la transmitancia visible de los elementos traslúcidos (ventanas) modificando el material de acabado superficial de estos elementos a través de la paleta de propiedades del *software*. El modelo fue calibrado con iteraciones que modificaban el follaje de los árboles (usando porcentajes de porosidad para el follaje cercanos al 60 % similares a lo encontrado en campo con el levantamiento) y la iluminancia de los tipos de cielo del programa para hacer coincidir las mediciones hechas en campo con las simuladas por medio del complemento *Insight Building performance analysis* de Revit.

El segundo modelo se elaboró con la finalidad de evaluar los valores arquitectónicos de tipo cualitativo recreando la geometría, materialidad, iluminancia y amoblamiento del proyecto. Algunas de las representaciones empleadas en el edificio de ciencias fueron: cortes fugados dinámicos, ángulos superiores, vistas con vuelo de pájaro, descomposiciones, visualizaciones de espacios interiores y análisis solares.

En la tercera fase se describieron los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos de la lectura simultánea y contrastada de los diferentes tipos de representaciones del edificio. Los criterios cualitativos considerados para el reconocimiento de valores espaciales y perceptuales se hicieron de manera descriptiva a partir de la observación realizada por los investigadores, debido a que marcan las impresiones del proyecto desde la perspectiva de los usuarios. Se trata de una experiencia multisensorial que permite recoger las impresiones del proyecto, las cualidades perceptuales del espacio mediante fotos, videos y el monitoreo de las características físicas de la edificación y del entorno.

Es decir, las gráficas, las fotografías, las simulaciones, las planimetrías obtenidas en el levantamiento, los videos de recorridos virtuales, los modelos virtuales y energéticos, filmografías, entre otros, que serán el insumo fundamental para el análisis mixto.

La cuarta y última fase consistió en articular los resultados cualitativos y cuantitativos con una visión crítica y unificadora que se realizó a la luz de los conceptos encontrados en la literatura: el claroscuro, la proporción, la textura y la profundidad del libro *La experiencia de la arquitectura* (Rasmussen, 2000); el sistema visual, sistema de orientación y sistema háptico del libro *Los ojos de la piel* (Pallasma, 2014); la orientación del sol y control solar del libro *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (Olgyay, 1998); clima y confort del libro *Man, climate and architecture* (Givoni, 1976), y el aprovechamiento de la luz natural del *Reglamento técnico de iluminación y Reglamento de alumbrado público y de instalaciones eléctricas* (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

En la figura 2 se muestra la ubicación de esta aula en la planta arquitectónica del segundo nivel (derecha) y se acompaña de una vista exterior (izquierda).

Las herramientas de representación utilizadas para el análisis cualitativo fueron: la animación interior del aula, la animación exterior y la animación corte perspectívico.

Figura 2. Vista exterior del aula 2104 (izquierda). Planta arquitectónica del segundo nivel del edificio (derecha)



Fuente: elaboración propia, (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

La animación interior del aula contextualiza al espectador en la proporción del espacio, el nivel de observación respecto al plano base y los elementos que limitan el aula, así como lo muestran los *keyframes* de la animación en la figura 3. Asimismo, devela la silueta que figura la envolvente del edificio, haciendo énfasis en sus concavidades y su tridimensionalidad.

En este tipo de representación hay una visión simultánea de la envolvente del proyecto,

como interfases que median la relación entre el interior-exterior, la espacialidad del aula y las condiciones del entorno inmediato. Esta mirada enfatiza la interacción de los sistemas de percepción e intensifica la experiencia del espacio, pues se trata de un ejercicio de representación con un alto componente analítico, que permite la comunicación simultánea de condiciones que, usualmente, son presentadas de manera aislada: contexto, espacio interior y fachadas.

Figura 3. . *Keyframes* de la animación interior del aula



Fuente: elaboración propia (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

Por otra parte, la animación exterior como muestran los *keyframes* en la figura 4, se utilizó para descontextualizar el edificio, pues fueron suprimidos los árboles, los edificios cercanos, las circulaciones y el paisaje

circundante, con la intención de presentar la magnitud real del edificio, las características de su geometría, sus proporciones y el factor del tiempo asociado al movimiento y al juego de sombras.

Figura 4. . Keyframes de la animación exterior



Fuente: elaboración propia (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

Finalmente, la animación de corte perspectí- vico destaca la proporción e intensidad lumínica entre los espacios interiores comunes del edificio, las aulas, las oficinas y los servicios complemen-

tarios como indican los *keyframes* en la figura 5. La animación contrapone dos nociones en la lectura del proyecto: a medida que se desmaterializa el volumen, surge el espacio.

Figura 5. Animación de corte perspectívico dinámico



Fuente: elaboración propia (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el levantamiento, monitoreo, modelación, análisis y discusión de resultados en cuanto a la relación de este edificio patrimonial moderno con el sol y la iluminación entre los aspectos arquitectónicos amalgamando lo cualitativo y lo cuantitativo.

De acuerdo con el Diagrama de Givoni (figura 6) elaborado con los datos de temperatura del aire y humedad relativa del archivo EPW de la zona cálida-húmeda al sur de la ciudad de Cali, se identificaron dos estrategias principales que se deben integrar en el proyecto para alcanzar el confort térmico: la ventilación natural y la protección solar a partir de los 24 °C, esta última claramente vinculada con la relación sol-edificio.

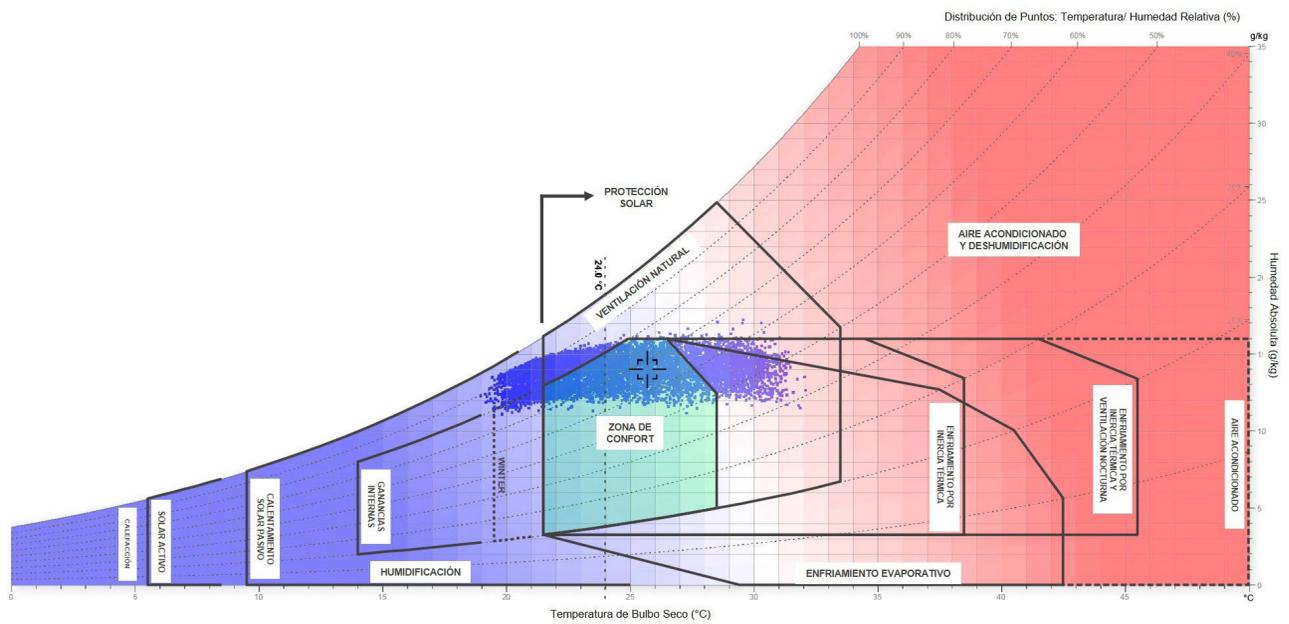
Protección solar

Como se apreció en la figura 2, y se verá en la figura 8, el aula 2104 posee dos fachadas que deben protegerse del sol: este y norte. La envol-

vente este del aula se protege mediante dos pieles: la primera es un balcón con antepecho y descolgado en concreto y, más adentro, la segunda, un muro de mampostería con vidriera en la parte superior. Por su parte, el cerramiento norte, que posee una ventana horizontal corrida de vidrio claro, está protegido por una combinación de elementos horizontales (antepechos y descolgados) y verticales (*brise-soleil*) en concreto.

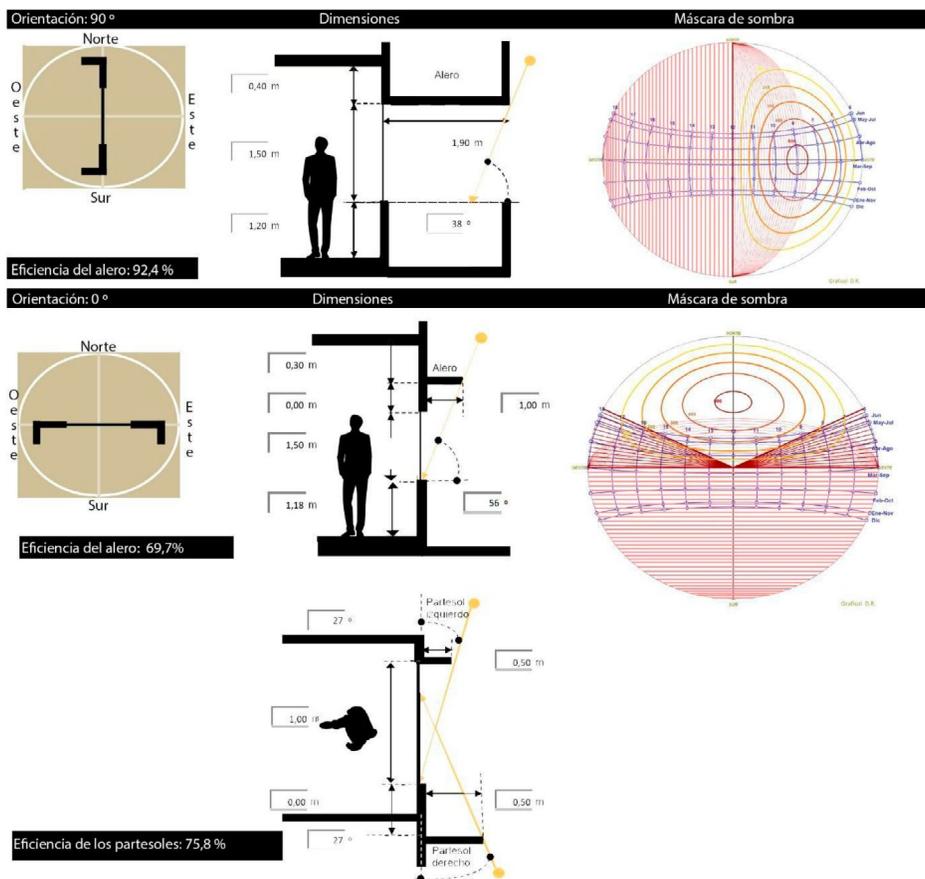
Evidentemente, el diseño de la fachada sigue las recomendaciones bioclimáticas: al este, evitar el ingreso de la radiación solar directa para no sobrecalentar el espacio interior. Y al norte, combinar elementos de protección solar verticales y horizontales para impedir el ingreso directo de radiación solar. Adicionalmente, debe existir un equilibrio entre estos elementos de protección solar con el área vidriada para permitir el acceso de luz difusa, del viento para estimular la ventilación cruzada y generar renovación de aire (Dudzinska, 2021; Giraldo et al., 2021).

Figura 6. Diagrama psicrométrico zona sur de Cali. Clasificación climática: cálido-húmedo



Fuente: Manual de Construcción Sostenible de Santiago de Cali, Departamento de Planeación Municipal, Alcaldía de Santiago de Cali (2023). CC BY-NC-ND 4.0.

Figura 7. Máscara de sombras de los elementos de protección solar en fachadas este y norte



Fuente: Gómez-Azpeitia (2015), modificada por los autores (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

En lo que concierne al análisis de protección solar, el diseño arquitectónico de la envolvente respondió de manera contundente, ya que, en el monitoreo de campo y el estudio solar computacional a través de Autodesk Revit, se comprobó que este diseño elimina la entrada directa de los rayos solares al espacio durante las horas de utilización (8 a 18), lo anterior se demuestra con la máscara de sombras de la figura 7.

Según los autores Payet et al. (2022), esta edificación, en relación con la estrategia de protección solar, se considera edificio de modo mixto, porque optimiza el diseño de la envolvente usando diferentes soluciones pasivas que minimizan las cargas de enfriamiento de los espacios interiores del edificio.

Iluminación natural

En el interior del aula 2104 (figura 8) se llevó a cabo el monitoreo de iluminancia. Los resultados obtenidos, tanto con el monitoreo como con la simulación computacional, indican que en el mejor de los casos (solsticio de junio 21, 10:00 a. m., figura 9, derecha) el rango de luminancia está entre los 160 y 400 lx, mientras que en el peor de los casos (solsticio de diciembre 21, 10:00 a. m., figura 9, izquierda) está entre 100 y 320 lx.

Estos valores no alcanzan los niveles de iluminancia para actividades de lectoescritura recomendados para mantener la higiene y la seguridad en el trabajo del *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas* (RETIE) y *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público*

(RETILAP), que señalan un rango entre 500 y 800 lx (Régimen legal de la profesión de técnico electricista, 2013) y (Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, 2009).

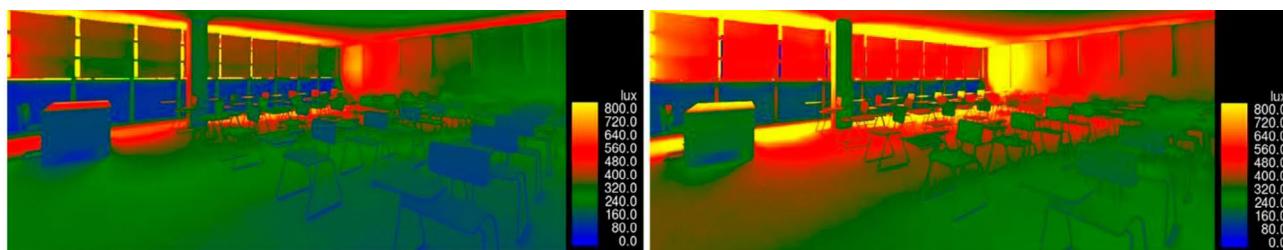
Cabe señalar que el aula 2104 se encuentra rodeada de vegetación tanto por la fachada este como por la norte, con especies de gran talla y frondosidad que, en la práctica, se comportan como una primera piel, que disminuye la ganancia de calor a los materiales de la edificación, la evaporación del agua y la convección de calor de las superficies del edificio al aire (Corbella & Magalhaes, 2008). Esta primera piel de vegetación es provechosa para el confort térmico, debido a la protección solar que brinda al aula, pero no lo es tanto para los niveles deseados de iluminación.

Figura 8. Fotografía interior del aula 2104



Fuente: elaboración propia (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

Figura 9. Renders de luminancia iniciales, sin intervención, del interior del aula 2104. Izquierda: solsticio de diciembre 21. Derecha: solsticio de junio 21



Fuente: elaboración propia, con base en Autodesk Insight Revit (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

Frente a esta situación, se simuló una “poda virtual” de la vegetación a la cual se le retiró el 40 % de la frondosidad, obteniendo que en el peor de los casos (solsticio de diciembre 21, 10:00 a. m., figura 10), el rango de iluminancia va de los 450 a los 800 lx, logrando así los niveles recomendados. Esta poda virtual se asemeja a lo que puede ser un mantenimiento solamente de la arborización aledaña a la fachada norte del aula, mantenimiento que en la realidad es nulo en el campus.

Otros parámetros importantes de valoración de la calidad de la iluminación son la eliminación

del deslumbramiento y la homogeneidad de los niveles de iluminancia. En lo que concierne al primer parámetro se demostró en el título anterior que el diseño arquitectónico de la envolvente elimina la entrada directa de los rayos solares al espacio y, por ende, el deslumbramiento.

En cuanto al segundo parámetro, la homogeneidad de la iluminación fue valorada cuantitativamente por medio de la ecuación de profundidad límite (PL) propuesta por Lechner (2007): $PL = ([2/1\text{promedio de reflectividad de las superficies}] / [1/\text{ancho del salón}] + [1/\text{altura}$

ventanas]), con la cual pueden evaluarse la distancia y el área en la cual la iluminación tiene adecuada uniformidad. En el caso de esta aula, que está iluminada bilateralmente, el 92,95 % de su área presenta una adecuada homogeneidad lumínica.

Precisamente, el área iluminada homogéneamente corresponde a la zona de pupitres y tablero, mientras que aquella por fuera de esta, corresponde a la circulación de acceso al salón.

Figura 10. Renders de luminancia del interior del aula 2104 después de poda virtual. Solsticio de diciembre 21, 10:00 a. m.

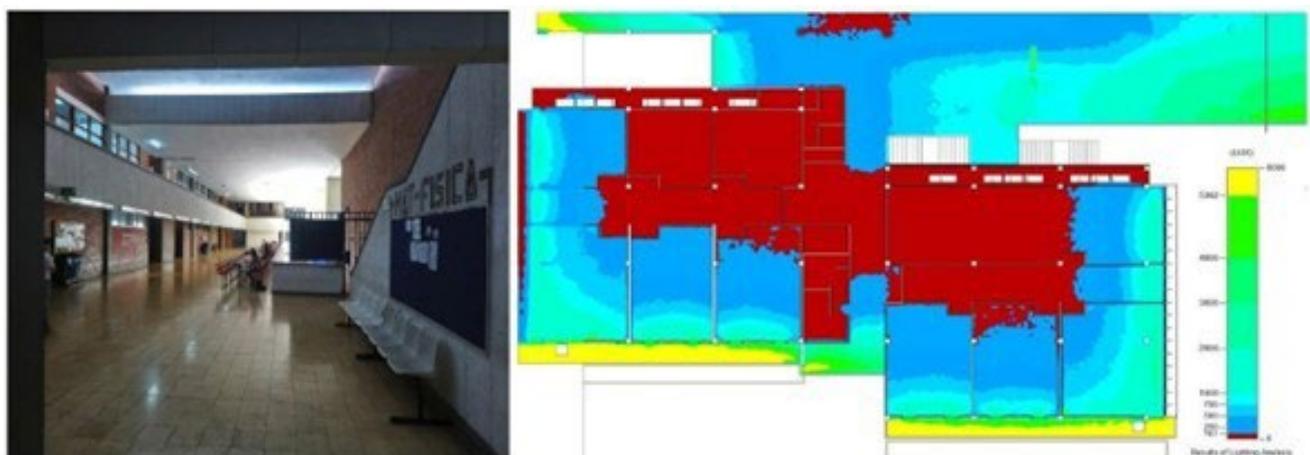


Fuente: elaboración propia (2021), con base en Autodesk Insight Revit (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

En términos de valoración perceptual, el recorrido sensible y consciente entre la exuberante vegetación del campus, el primer piso de planta liberada y abierta, los espacios intermedios y comunes de alturas variables, el corredor oscuro y, finalmente, el aula, están signados (figura 11, izquierda) por una secuencia de espacios iluminados y ensombrecidos que, gracias a la apertura de grandes vanos en la fachada este, disponen de atmósferas cambiantes en el transcurso del día que indican y guían el recorrido al visitante.

Los niveles de luminancia en el pasillo inmediato al aula 2104, que se muestran en la planta de la figura 11, van desde 107 hasta 250 lx, lo cual cumple con lo indicado en los reglamentos RETIE y RETILAP, que recomiendan un valor mínimo de 100 lx, debido a que no son espacios de permanencia para el trabajo o estudio. Sin embargo, los pasillos principales, más alejados de las aulas, en los cuales están dispuestas algunas mesas de estudio de carácter grupal o informal, muestran valores incluso hasta de 1000 lx, lo cual es ideal para departir e incluso para la lectoescritura.

Figura 11. Fotografía de los pasillos. Derecha: Distribución de iluminancia en planta del segundo nivel



Fuente: elaboración propia, con base en Autodesk Insight – Revit (2021). CC BY-NC-ND 4.0.

El ingreso al aula está marcado por el contraste con el corredor interior con baja iluminación, debido a la doble crujía de salones y la ubicación de una ventana como remate sobre la fachada norte. En el vértice opuesto a la puerta de acceso, la tridimensionalidad de la envolvente dilata la experiencia inmediata del paisaje exterior tamizado por las copas de los árboles.

No obstante, el ingreso de luz permite el reconocimiento total del espacio en una sola imagen y señala la disposición de los elementos de dotación (sillas, tablero, mesas) para su uso cotidiano. La luz ingresa al espacio de manera homogénea y lo reviste de claridad, por tanto, la relación de las paredes, piso y techo con la iluminación es fundamental para equilibrar y distribuir racionalmente la luz.

DISCUSIÓN

Como lo muestran los resultados, la aplicación de esta metodología permite realizar operaciones con la información levantada y simulada digitalmente propias de los procesos de conocimiento, tales como: visibilización de variables tangibles e intangibles, separación, combinación, contraste, rearmado y suposiciones. Procesos que son esenciales para la interpretación de valores del patrimonio construido.

De la misma forma, surge un dinamismo con esta metodología que radica en que el levantamiento obtenido constituye un modelo interactivo que es el comienzo y no el fin del trabajo, porque es susceptible de continuar recibiendo y produciendo información de aspectos cualitativos y cuantitativos, no solo de la valoración patrimonial, sino también de la gestión de la edificación y su entorno.

Específicamente, en el caso de estudio la metodología permitió comprender el valor de las decisiones tomadas por los diseñadores en cuanto a las relaciones sol-edificio, visibilizando que entendían con claridad los efectos de la radiación solar y el diseño bioclimático de la envolvente edilicia, que en el caso del edificio de la Facultad de Ciencias Natu-

Otro aspecto para destacar en la iluminación es la horizontalidad de la ventana que remarca la disposición del aula sobre el paisaje circundante. En la simulación, acudiendo a la “poda virtual” de árboles, fue posible apreciar desde el aula otros edificios del campus que fueron edificados en el mismo momento, como el conjunto de auditorios y la torre de ingeniería, obra de Lago y Sáenz en 1971.

Esta cualidad de la fachada entrega profundidad al espacio y encuadres particularizados que trascienden el espacio mismo, pero a su vez aportan la sensación de contención espacial gracias a los elementos arquitectónicos cercanos como *brise-soleil* y antepechos (Al Touma & Ouahrani, 2018).

rales y Exactas (E20) de la Universidad del Valle trasciende el límite de la fachada y se extiende al paisajismo circundante.

En cuanto al aspecto técnico de la relación sol-edificio, cabe resaltar la jerarquía dada por los autores a las condiciones térmicas frente a las lumínicas, dado que tanto en su momento de diseño y construcción 1966-1971 como en la actualidad, el consumo energético, huella de carbono y complejidad de los sistemas de climatización son mucho mayores que los sistemas de iluminación.

En cuanto a los aspectos cualitativos del vínculo entre el diseño arquitectónico y la luz solar, se resaltan los valores estéticos de las circulaciones de la edificación que generan dinámicas de espacios bien iluminados y penumbrosos que incentivan la permanencia en los primeros y el transcurrir en los segundos. La calidad sensorial de estos espacios de permanencia como zonas de estudio y aulas combinan encuadres particularizados a otros notables edificios del campus y el paisaje exterior con la contención necesaria para la realización de actividades de lectoescritura.

CONCLUSIONES

El trabajo logró proponer una metodología que combina enfoques bioclimáticos con enfoques perceptuales, utilizando levantamientos, monitoreos, herramientas digitales y simulaciones ambientales para comprender la relación sol-edificio en edificaciones patrimoniales y, de esta manera, agregar valor o resignificar las decisiones proyectuales tomadas por los archi-

tectos diseñadores en cuanto a lenguaje, estilo, forma o elementos de diseño.

Este método, que integra las características cualitativas y cuantitativas de la relación sol-edificio, permite comprender y comunicar mediante la representación digital aspectos no visibles, lo cual aumenta la comprensión del

funcionamiento del edificio patrimonial y sus valores arquitectónicos.

Asimismo, el acto de redibujar, modelar y virtualizar son actividades que entregan conocimiento del patrimonio en los contextos ambiental, proyectual, constructivo, tecnológico e incluso histórico. Esto se convierte en el insumo principal para comunicar de forma diversa el valor patrimonial.

Mientras que los procesos tradicionales de levantamiento y valoración del patrimonio terminan en un hecho de representación estática, este método alcanzó un modelo dinámico e interactivo desde una etapa temprana que permitió explorar, contrastar, simular y revisar de manera científica la relación sol-edificio.

En relación con el caso de estudio: el edificio de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas (E20) de la Universidad del Valle y específicamente la unidad de análisis: aula 2104, se observó que implementar un sistema de protección solar obedece a un análisis bioclimático de selección de estrategias para alcanzar el confort térmico como el de la figura 6 y no meramente un recurso estilístico caprichoso.

En este sentido, se observó un riguroso diseño de la envolvente vertical este y norte que protege el aula del ingreso de la radiación solar directa en las horas de uso, utilizando de manera precisa y equilibrada elementos horizontales (balcones, descolgados y antepechos) y verticales (*brise-soleil*). Esto se demostró con la máscara de sombras de la figura 7.

En este proyecto, los arquitectos Jaime Camacho y Julián Guerrero demuestran conciencia por el clima del lugar, conocimiento y aplicación de la estrategia bioclimática de protección solar al agregar elementos como los *brise-soleil*, no solamente para evitar el ingreso de carga térmica, sino también conservando

un meticuloso equilibrio para la iluminación y ventilación naturales. Lo anterior demuestra que dominaban profundamente el enfoque bioclimático, que desde ese momento y hasta la actualidad ha sido piedra angular de la sostenibilidad en la arquitectura.

En el caso de estudio se resaltan decisiones concernientes a la relación sol-edificio de gran valor proyectual, como es el hecho de que el grupo de diseñadores hayan dado prioridad al componente térmico sobre el lumínico, ya que este último puede solucionarse con equipos de muy bajo consumo energético en comparación con equipos de enfriamiento para brindar confort térmico.

Con relación a los buenos resultados obtenidos en los parámetros de deslumbramiento y homogeneidad mostrados en la figura 10, y el hallazgo de que con un poco de mantenimiento a la vegetación circundante es posible alcanzar niveles de iluminancia adecuados para las actividades académicas, es indudable que los diseñadores tenían un claro conocimiento de las estrategias proyectuales relacionadas, no solo con la iluminación natural, sino también de la climatización pasiva, lo cual es un punto de gran importancia en el valor patrimonial de la edificación.

En el caso de este edificio, se identificó la piel como un dispositivo arquitectónico complejo que aporta a la estética del volumen la característica horizontalidad de la arquitectura moderna alcanzada a través de la ventana horizontal corrida, interrumpida solamente por los *brise-soleil* retrocedidos al interior del volumen. Se suma a lo anterior el contraste de los materiales de los descolgados y antepechos, que refuerzan el carácter moderno del proyecto desde su percepción espacial, claramente sin dejar de lado los aspectos técnicos concernientes a la relación sol-edificio y su influencia en la confortabilidad térmica y lumínica.

REFERENCIAS

- Al Touma, A., & Ouahrani, D. (2018). The selection of brise soleil shading optical properties for energy conservation and glare removal: A case study in Qatar. *Journal of Building Engineering*, 20, 510-519. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.08.020>
- Arciniega Acuña, M. F., & Tapia Guillén, F. E. (2023). La valoración del patrimonio arquitectónico por la sociedad como aporte para su catalogación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4940
- Barber, A. (2020). *Análisis de la digitalización en tecnologías energéticas emergentes* [Tesis de maestría]. Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/47989/TFM%20-%20BarberAbril%2C%20Angela.pdf?sequence=2>
- Bermúdez, M., Uribe, S., & Uribe, O. (1987). *Asoleamiento, teoría general y diagramas*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

- Buitrago, P., & Kattan, J. (2011). *Universidad del Valle. Arquitectura para la educación*. Editorial Universidad del Valle.
- Camporeale, P., Mercader, M., & Cózar, E. (2019). Evaluación del impacto ambiental mediante la introducción de indicadores a un modelo BIM de Vivienda Social. *Hábitat Sustentable*, 9(2), 78-93. <https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.02.07>
- Corbella, O., & Magalhaes, M. (2008). Conceptual differences between the bioclimatic urbanism for Europe and for the tropical humid climate. *Renewable Energy*, 33(5), 1019-1023. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.04.004>
- De la Peña González, A. M., & Quintero Díaz, G. (2011). *Arquitectura y medio ambiente*. Efe Consultores.
- Dudzinska, A. (2021). *Efficiency of solar shading devices to improve thermal comfort in a sports hall*. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en14123535>
- Franco, G. (2012). *El levantamiento arquitectónico: una aproximación metodológica* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- Galindo-Díaz, J., Osuna-Motta, I., & Marulanda-Montes, A. (2020). De componer la fachada a diseñar la envolvente: el ejemplo del arquitecto Juvenal Moya en Cali. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1), 94-106. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2776>
- Givoni, B. (1976). *Man, climate and architecture*. Applied Science Publishers.
- Giraldo-Castañeda, W., Czajkowski, J. D., & Gómez, A. F. (2021). Confort térmico en vivienda social multifamiliar de clima cálido en Colombia. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 23(1), 115-124. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2938>
- Gómez-Azpeitia, G. (2015). *Grafisol*. Universidad Colima, México. <http://www.ucol.mx/publicaciones-enlinea/recursos.php?docto=6&r=software>
- Gravagnuolo, A., Angrisano, M., Bosone, M., Buglione, F., De Toro, P., & Girard, L. (2024). Participatory evaluation of cultural heritage adaptive reuse interventions in the circular economy perspective: A case study of historic buildings in Salerno (Italy). *Journal of Urban Management*, 13, 107-139. <https://doi.org/10.1016/j.jjum.2023.12.002>
- Hernández, S., & Mendoza, C. (2008). *El matrimonio cuantitativo cualitativo: el paradigma mixto*. McGraw Hill Education.
- Hossam, E. (2019). 3D laser scanning and close-range photogrammetry for buildings documentation: A hybrid technique towards a better accuracy. *Engineering Journal*. https://www.researchgate.net/publication/337147619_3D_laser_scanning_and_closerange_photogrammetry_for_buildings_documentation_A_hybrid_technique_towards_a_better_accuracy
- Hyeon, H., Yuk, H., Kang, Y., & Kim, S. (2023). Conservation of architectural heritage: Innovative approaches to enhance thermal comfort and promote sustainable usage in historic buildings. *Case Studies in Thermal Engineering*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103500>
- Iglesias-García, V. (2022). El campus de la Universidad del Valle: un laboratorio de diseño del paisaje moderno en Colombia. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 24(2), 126-138. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2022.24.3236>
- Jiménez, S. (2009). *La arquitectura de Cali. Valoración histórica*. Universidad de San Buenaventura Cali. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/feb35023-c7ca-49ca-aa0a-7508e1d84524/content>
- Lechner, N. (2007). Iluminación. Conceptos Generales. *Revista tectónica: Monografías de arquitectura, tecnología y construcción*, 24, 4-15. https://pro-tectonica-s3.s3.eu-west-1.amazonaws.com/art24pdf_1553519579.pdf
- Machado, M., & Pérez, E. (2020). Ámbitos dinámicos. De cómo la tectónica cede paso a los agenciamientos. *ACE: arquitectura, ciudad y entorno*, 1-23. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/178906>
- Ministerio de Minas y Energía. (2009). *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público*. MinMinas. https://www.nuevaleislacion.com/files/susc/cdj/conc/anx_r181331_09.pdf

- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili.
- Pallasma, J. (2014). *Los ojos de la piel*. Gustavo Gili.
- Payet, M., David, M., Lauret, P., Amayri, M., Ploix, S., & Garde, F. (2022). *Modelling of occupant behaviour in non-residential mixed-mode buildings: The distinctive features of tropical climates*. Energy y buildings. <https://hal.univ-reunion.fr/hal-03602309>
- Pulido, L. (2017). Técnicas para un levantamiento arquitectónico. *Revista Oblicua*, 19-27. <https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-2.pdf>
- Rodríguez, J., Navas, D., & Pérez, M. (2022). Le Corbusier como urbanista. Una visión contemporánea a través del ecosistema digital. En R. Rodríguez & R. Villamarín (Eds.), *Desafíos audiovisuales de la tecnología y los contenidos en la cultura digital* (pp. 485-500). McGraw-Hill. <https://acortar.link/G17xYp>
- Rasmussen, E. (2000). *La experiencia de la arquitectura*. Reverté.
- Régimen Legal de la Profesión de Técnico Electricista. (2013). *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)*. Consejo Nacional de Técnicos Electricistas (CONTE).
- Rigotti, A. (2014). Arquitecturas para la gran ciudad: dimensión, planta, envolvente y autonomía. *Cuaderno LHU*, 6, 2-3. <https://rehip.unr.edu.ar/bitstreams/efaa79d0-05e1-4be6-8e51-1d758d613bde/download>
- Zhang, J., Zhu, X., Mateen, A., Houda, M., Kashif, S., Jameel, M., Faisal, M., & Alrowais, R. (2023). *BIM-based architectural analysis and optimization for construction 4.0 concept (a comparison)*. Ain Shams Engineering Journal. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102110>