HS

Revista Hábitat Sustentable

ISSN 0719 - 0700
Vol. 11 N°. 2
Diciembre
2021

UNIVERSIDAD DEL BIO BIO

Revista Hábitat Sustentable

ISSN 0719 - 0700
Vol. 11 N°. 2
diciembre
2021

HS REVISTA HÁBITAT SUSTENTABLE V11N2
Revista del Departamento Diseño y Teoría de la Arquitectura
Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile

ISSN 0719-6466 versión online

RECTOR:
MAURICIO CATALDO MONSALVES

DECANO FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO:
ROBERTO EDUARDO BURDILES ALLENDE

EDITORA RESPONSABLE:
Dra. CLAUDIA MUÑOZ SANGUINETTI / Departamento Ciencias de la Construcción, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
clmunoz@ubiobio.cl

PRODUCTORA EDITORIAL:
JOCELYN VIDAL RAMOS / Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
javidal@ubiobio.cl

ASISTENTE EDITORIAL:
Arq MÁRIA PAZ CID ALARCÓN / Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
mpcid@ubiobio.cl

CORRECIÓN DE ESTILO:
Dra. OLGA OSTRIA REINOSO / Departamento Estudios Generales

GESTIÓN INFORMÁTICA:
KARINA LEIVA / Universidad del Bío-Bío, Chile

DIRECTOR DE ARTE Y DIAGRAMACIÓN:
IGNACIO A. SÁEZ ARANEDA

COMITÉ PRODUCTIVO:
Dra. M° BEATRIZ PIDERIT MORENO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

ALEJANDRA BANCALARI CORNEJO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

CONSEJO EDITORIAL:
Dra. MAUREEN TREBILCOCK KELLY / Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile.
Dra. M° BEATRIZ PIDERIT MORENO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile
Dr. RODRIGO GARCÍA ALVARADO / Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
Dra. NINA HORMAZÁBAL / Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile
Dr. WALDO BUSTAMANTE / Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
Dr. ERNESTO KUCHEN / Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, San Juan, Argentina
Dra. CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ / Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
Dr. OLAVO ESCORCIA OYOLA / Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia
Dr. ALEXANDER GONZÁLEZ CASTAÑO / Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia
Dr. CARLOS RUBIO-BELLIDO / Universidad de Sevilla, Sevilla, España
Dra. MARÍA DEL PILAR MERCADER MOYANO / Universidad de Sevilla, Sevilla, España
Dr. VICENTE FLORES ALÉS / Universidad de Sevilla, Sevilla, España
Dr. FLAVIO CELIS D'AMICO / Universidad de Alcalá, Madrid, España
Dr. ERNESTO ECHEVERRÍA VALIENTE / Universidad de Alcalá, Madrid, España

TRADUCCIONES:
KEVIN WRIGHT

FOTOGRAFÍA PORTADA:
JAIME ANDRES GATICA MARTINEZ / La escuela Cantino

DIRECCIÓN:
Avda. Collao 1202
CP: 4081112. Concepción, Chile
TEL.(56-41)3111409

Revista **HS** indexada en SciELO, ERIHPLUS, Emerging Source Citation Index de Clarivate Analytics, Latindex Catálogo 2.0, Avery Index, DOAJ, Dialnet, Redib, EBSCO, Rebiun, JornalTOcs y ARLA.
HS se adhiere a la Declaración de San Francisco Sobre la Evaluación de la Investigación (DORA).

Los criterios expuestos en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de la dirección de la revista.

Revista Hábitat Sustentable es editada por el Facultad de Arquitecturas Construcción y Diseño de la Universidad del Bío-Bío, es financiada por el Fondo de Publicaciones Periódicas de la Vicerrectoría Académica, la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación y la Dirección de Postgrado de la Universidad del Bío-Bío junto al Programa de Información Científica Concurso Fondos de Publicación de Revistas Científicas 2018 Proyecto Código: FP180007

05 LA ESCUELA CANTINO

Jaime Andres Gatica Martinez

07 EDITORIAL

Cristina Engel de Alvarez

08 EL ROL ACTIVO DEL USUARIO EN LA BÚSQUEDA DE CONFORT TÉRMICO DE VIVIENDAS EN CLIMA TEMPLADO ÁRIDO

Soledad Elisa Andreoni Trentacoste, Carolina Ganem Karlen

22 HOSPITALES SUSTENTABLES: PARTIDAS CRÍTICAS PARA SU CONSTRUCCIÓN Y EL ROL DE LA INSPECCIÓN TÉCNICA

Pablo Canales, Claudia Valderrama Ulloa, Ximena Ferrada

34 DISEÑO DE EDIFICIOS DE OFICINAS SUSTENTABLES PARA PROMOVER OCUPANTES SUSTENTABLES

Fernando Chávez Finol, Maureen Trebilcock Kelly, María Beatriz Piderit Moreno

46 TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN EN ARQUITECTURA ENTRE 2016-2020 EN LA BASE DE DATOS SCOPUS Y SU RELACIÓN CON LA CREACIÓN DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

Claudia Costa De los Reyes, Silvia Viñán, María Isabel Vivanco, Fernando Moncayo

60 EVALUACIÓN TÉRMICA Y LUMÍNICA EN PROTOTIPOS DE CUBIERTAS LIGERAS, PARA CLIMA CÁLIDO HÚMEDO

Edison Bolivar Ortiz Zambrano, Jefferson Torres Quezada, José Fabián Véliz Párraga

72 SIMULACIÓN MEDIANTE CDF DE UNA CHIMENEA SOLAR INCLINADA SOBRE LA CUBIERTA

Sandra Rodríguez Trejo, Víctor Fuentes Freixanet

LA ESCUELA CANTINO

La escuela Cantino obtuvo el *tercer lugar de los Premios CES 2020* (Certificación Edificio Sustentable) *y fue nominada* a los premios ODA 2021 organizado por Archdayli.

La obra cuenta con altos estándares de diseño pasivo y eficiencia energética dado por un contexto de inviernos fríos y veranos calurosos, lo que permitió lograr certificarlo mediante la metodología CES edificio sustentable con la denominación "certificación destacada".

Se aprovechó el potencial de la madera de bosques renovables, como estructura predominante, se utilizó madera estructural de pino radiata y elementos principales de madera laminada. Esta solución estructural fue modelada bajo el software Cadwork y mecanizada con máquina de tecnología CNC para fabricación de piezas, lo que permitió la ejecución de una obra limpia y en menor tiempo.

Se incorporaron sistemas de ventilación y calefacción de alto rendimiento, siendo otra característica el que la obra fue completamente aislada mediante celulosa de papel de diario reciclado.

Toda esta sumatoria de decisiones en su conjunto contribuyeron al desarrollo de un edificio de alto desempeño energético y a la disminución de la huella de carbono, entre otros aspectos.

Jaime Andres Gatica Martinez
Arquitecto
Magíster en Eficiencia Energética y Construcción sustentable
Académico FAAD- ARQ UCT -Temuco
Socio fundador del Taller Viga Maestra
tallervigamaestra@gmail.com
https://www.instagram.com/tallervigamaestra

Revista Hábitat Sustentable Vol. 11, N°. 2. ISSN 0719 - 0700/ Págs. 07
https://doi.org/10.22320/07190700.2021.11.02.00

EDITORIAL

PARA NUEVOS TIEMPOS, MÁS CONOCIMIENTO

Pandemia y cambio climático: dos eventos que se mezclan y, a menudo, parecen ser uno solo. Los acontecimientos de los últimos años, y especialmente de 2021, han puesto en jaque las certezas que hasta entonces se habían sostenido acerca de que el conocimiento producido por la ciencia podría llevar a la humanidad por un camino seguro. Por un momento, nos pareció que los resultados de múltiples tesis y el esfuerzo acumulado por comprender los fenómenos y las soluciones basadas en el concepto de sostenibilidad eran en vano, dadas las amenazas de una pandemia feroz y, también, los intentos frustrados de contener el cambio climático. Los objetivos perseguidos hasta aquí se veían profundamente desafiados.

Ante una realidad nueva e inesperada, arquitectos, urbanistas, ingenieros y otros profesionales e investigadores relacionados con el ambiente construido comenzaron a cuestionar sus certezas. Surgieron innumerables preguntas. ¿Cómo pensar, por ejemplo, en el transporte público masivo, si esto supone aglomeración, además de un posible uso inadecuado de la energía? ¿Y qué hacer ahora con los espacios públicos urbanos, como plazas y parques, que históricamente se consideraron lugares de encuentro que aportaban calidad a las ciudades y sus habitantes? ¿Y cómo contener – si es que se debe contener –, el aumento del *home office*, que ha interferido con los espacios tradicionales de vivienda, así como vaciado edificios comerciales y escolares? ¿Qué pasa con la expansión en el uso de acondicionadores de aire y todas sus consecuencias ambientales, dada la creciente necesidad de permanecer en ambientes interiores controlados? ¿Y cómo pensar en espacios para grandes acontecimientos, símbolos de multitudinarias reuniones y magnos eventos? En este nuevo contexto, ¿qué ocurre con las "ciudades inteligentes"? Y, después de todo, ¿qué significa entonces, una ciudad ser inteligente frente a esta realidad?.

Cuando la mirada se vuelve hacia el tema de los impactos, ya sean provocados por la pandemia del COVID-19 o los inherentes al cambio climático, es inevitable considerar los efectos sobre las comunidades más vulnerables, que se vuelven aún más frágiles en este escenario. No hay forma de pedir distancia a una familia que vive en una sola habitación, ni es posible exigir que abandonen zonas con riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra, ante el inevitable incremento en la ocurrencia de desastres naturales, que han sido ampliamente experimentados en años recientes.

El mundo se sacudió en 2021 y, a partir de ese cambio, descubrimos que tendremos que reinventarnos. El bienestar ya no lo puede lograr el individuo, enfrentado a la necesidad de que toda la comunidad esté vacunada para superar la pandemia. Es imprescindible, por lo tanto, hacerse cargo de las diferencias sociales, pero la formulación de políticas públicas orientadas a este objetivo no puede ser tratada como "caridad", ya que la expansión de las dichas diferencias tiende a llevar a la sociedad a una condición de barbarie, indeseable por todos los segmentos. A fin de que todos tengan una calidad de vida digna, con mayor seguridad, menos violencia, menos impactos ambientales, mejores condiciones de transporte, educación, etc., es básico reducir las disparidades sociales. Sin ello, las personas con mejores condiciones económicas estarán confinadas en condominios cerrados y podrían resurgir las antiguas ciudadelas, regidas por sus propias leyes y aisladas de la convivencia urbana.

Es urgente que sigamos luchando por la búsqueda del equilibrio ambiental, social y económico. Temas como la energía, la vivienda, el confort y la eficiencia, los cuales se abordan en este número de Hábitat Sustentable, siempre estarán entre las preocupaciones de todos los que queremos hacer de nuestro planeta un lugar más sostenible para vivir.

El periodo pandémico vivido, así como la Conferencia sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas de 2021, llevado a cabo en Glasgow, nos hizo darnos cuenta de que el mundo no solo está globalizado por la tecnología; la supervivencia del planeta depende de acciones comunes e integradas, ya sea para combatir algo microscópico como un virus o algo grandioso e invisible como el clima. Estamos todos en el mismo barco, cuyo rumbo depende del uso que hagamos de los conocimientos.

Que los trabajos aquí publicados sean parte de un camino hacia nuevos tiempos, mejores y más felices.

Cristina Engel de Alvarez
Doctora en Arquitectura y Urbanismo
Profesora Titular e investigadora del Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Presidente de la Fundación de Apoyo a la Investigación y la Innovación de Espirito Santo
Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil
https://orcid.org/0000-0002-3898-8515
cristina.engel@ufes.br

CC BY SA

Recibido 30/08/2021
Aceptado 25/11/2021

EL ROL ACTIVO DEL USUARIO EN LA BÚSQUEDA DE CONFORT TÉRMICO DE VIVIENDAS EN CLIMA TEMPLADO ÁRIDO

THE ACTIVE ROLE OF THE USER IN THE SEARCH FOR THERMAL COMFORT OF DWELLINGS IN A TEMPERATE ARID CLIMATE

SOLEDAD ELISA ANDREONI-TRENTACOSTE
Magíster en Energías Renovables
Becaria Doctoral
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - Centro Científico Tecnológico (CCT) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Mendoza, Argentina
https://orcid.org/0000-0002-2298-7649
sandreoni@mendoza-conicet.gob.ar

CAROLINA GANEM-KARLEN
Doctora en Arquitectura
Investigadora Independiente
Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE) - Centro Científico Tecnológico (CCT) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Mendoza,Argentina
https://orcid.org/0000-0002-1431-1219
cganem@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

El comportamiento del usuario es uno de los principales factores de incertidumbre en el desempeño térmico de una vivienda. El presente estudio contribuye a identificar variables que influyen en la conducta del usuario y, a su vez, en cómo ésta afecta el desempeño térmico de viviendas en la ciudad de Mendoza. En ese sentido, se realizó una auditoría térmica de una vivienda representativa, en verano e invierno, elaborando en forma paralela un registro de uso y gestión de los habitantes. Se concluye que, en verano, una correcta gestión de la envolvente mediante la ventilación nocturna favorece el logro de confort interior en un 89% de los datos registrados; y, en invierno, un correcto aprovechamiento de la ganancia solar directa favorece el logro de confort en un 60% de dichos datos. Se evalúan, finalmente, alternativas de mejora edilicia para la estación más desfavorable.

Palabras clave

uso y gestión, ocupación, comportamiento del usuario, confort térmico, estrategias bioclimáticas

ABSTRACT

User behavior is one of the main factors of uncertainty in the thermal performance of a dwelling. This study contributes to identifying variables that would influence the user behavior and, in turn, how these affect the thermal performance of houses located in the city of Mendoza. For this, a thermal audit of a representative dwelling was made in summer and winter, while also recording occupancy and occupant actions. It was concluded that, in summer, correct management of the envelope through night cooling favors reaching indoor comfort in 89% of the recorded data. In winter, the correct use of direct solar gain favors reaching comfort in 60% of the recorded data. Finally, alternatives for building improvements are evaluated for the most unfavorable season.

Keywords

use and management, occupancy, occupant behavior, thermal comfort, bioclimatic strategies

INTRODUCCIÓN

Los impactos del incremento en el calentamiento global afectan tanto la salud humana como a los ecosistemas. Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y los consumos energéticos en el sector edilicio es, por ende, primordial. Sin embargo, estos valores se han incrementado en los últimos años. Los edificios son responsables del 36% del consumo de energía final (7% más que en 2010) y del 39% de las emisiones (Agencia Internacional de la Energía [IEA] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP], 2019). Se estima que las actividades humanas son responsables del incremento de 1°C en el calentamiento global, por encima de los niveles pre-industriales (Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC], 2018). En el último reporte del IPCC (2021) se expone que la temperatura de la superficie global continuará aumentando hasta al menos mediados de siglo bajo todos los escenarios de emisiones estudiados. El calentamiento global de 1.5°C y 2°C por encima de los niveles pre industriales será superado durante el siglo XXI, a menos que se produzcan reducciones profundas en las emisiones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero en las próximas décadas.

Efectivamente,

> El confort térmico del ser humano en el entorno construido es directamente relevante para los principales problemas contemporáneos del cambio climático, siendo la principal causa de aumentos desmedidos en los consumos energéticos. Un fenómeno representativo de la variabilidad climática en las ciudades es la presencia de islas de calor, es decir, el aumento de las temperaturas en sectores de la ciudad en comparación con los alrededores periurbanos y el área rural. Lo que repercute en un aumento en el consumo energético para enfriamiento de casas-habitación y de instalaciones de servicios y, por consiguiente, las emisiones de gases de efecto invernadero también se incrementan. (Martínez Peralta, 2016, p. 355)

A lo anterior se suma que "el usuario promedio exige con el paso del tiempo espacios interiores mejor climatizados y tiene menos tolerancia a la incomodidad térmica" (Arrieta, 2020, p. 64). La creciente demanda de confort térmico en ambientes residenciales busca respuestas desde la arquitectura. Diversos estudios (Roaf, 2018; Invidiata y Ghisi, 2016; Palme, Carrasco y Gálvez, 2016; Silva, Almeida y Ghisi, 2016; Diulio, Netto, Berardi y Czajkowski, 2016) demuestran que el uso de estrategias bioclimáticas pasivas es esencial para incrementar el confort térmico interior en viviendas favoreciendo, a su vez, la reducción de los consumos energéticos. Aunque resulta importante considerar que algunas estrategias pasivas que se utilizan actualmente serán menos eficientes en el futuro, a raíz del calentamiento global (Flores-Larsen, Filippín y Barea, 2019).

En ese contexto, "se plantea para los arquitectos un escenario futuro que hace ineludible una arquitectura más sostenible, lo que requiere de una definición del perfil del arquitecto en comunicación con el medio y con los usuarios" (Pérez, 2016, p. 33). Ello representa, por tanto, el compromiso de proveer confort a los usuarios de los proyectos mediante posibilidades de adaptación concebidas desde el diseño. Incorporar en los edificios oportunidades de adaptación, colabora en la tarea de incrementar su eficiencia energética en relación a su función principal de proporcionar un entorno térmico aceptable e, incluso, agradable. Según Susan Roaf (2018), el logro del confort térmico, sin la utilización de equipos de climatización que utilicen energía auxiliar, es la clave del éxito y la resiliencia de un edificio.

El equilibrio de las ciudades, en particular las que se encuentran en un clima árido templado continental, como es el caso de la ciudad de Mendoza, Argentina, depende de un adecuado y apropiado uso de sus recursos y de sus potencialidades. El usuario toma decisiones que pueden contribuir positivamente a la sustentabilidad urbana, o bien, perjudicarla, dado que el consumo de energía está directamente relacionado a las actividades humanas. Una conducta activa del usuario se ha vuelto un punto clave para la reducción de consumos energéticos y emisión de gases de efecto invernadero en el sector edilicio (Andreoni Trentacoste y Ganem Karlen, 2017; D'Amanzo, Mercado y Ganem Karlen, 2020).

Los estudios realizados sobre el análisis de conductas del usuario se enfocan, mayoritariamente, en tipologías no residenciales (Deuble y de Dear, 2012; Alonso-Frank y Kuchen, 2016; Antoniadou y Papadopoulos, 2017; Ö. Göçer, Candido, Thomas y K. Göçer, 2019). Las viviendas se caracterizan por conductas de uso y actividades muy variadas, lo que representa una mayor complejidad a la hora de analizar las conductas de los usuarios y su influencia en el desempeño térmico edilicio. El diseño de viviendas que cuenten con sistemas eficientes energéticamente y de envolventes que permitan al usuario adaptar las condiciones de confort interior a su preferencia, puede perfeccionarse en base a información confiable derivada del estudio empírico de las necesidades y comportamiento de los usuarios. Variadas investigaciones (Hong, Yan, D'Oca y Chen, 2016; Lopes, Antunes, Reis y Martins, 2017; Balvedi, Ghisi y Lamberts, 2018; Li, Yu, Haghighat y Zhang, 2019; Carlucci *et al.*, 2020) evidencian la importancia del análisis del comportamiento del usuario en relación al uso y gestión de viviendas para la predicción del desempeño térmico edilicio mediante modelos de simulación, entendiendo por "uso" a todas aquellas prácticas o costumbres relacionadas con la ocupación de la vivienda por parte del usuario. Tanto el número de ocupantes y los horarios en que hacen uso del espacio interior, como las actividades y los elementos o equipamiento que utiliza en el desarrollo de la vida diaria. La noción de "gestión", en cambio, apunta a la administración de los sistemas y recursos activos o pasivos de la vivienda con el fin de resolver las necesidades de confort del usuario, garantizando la habitabilidad.

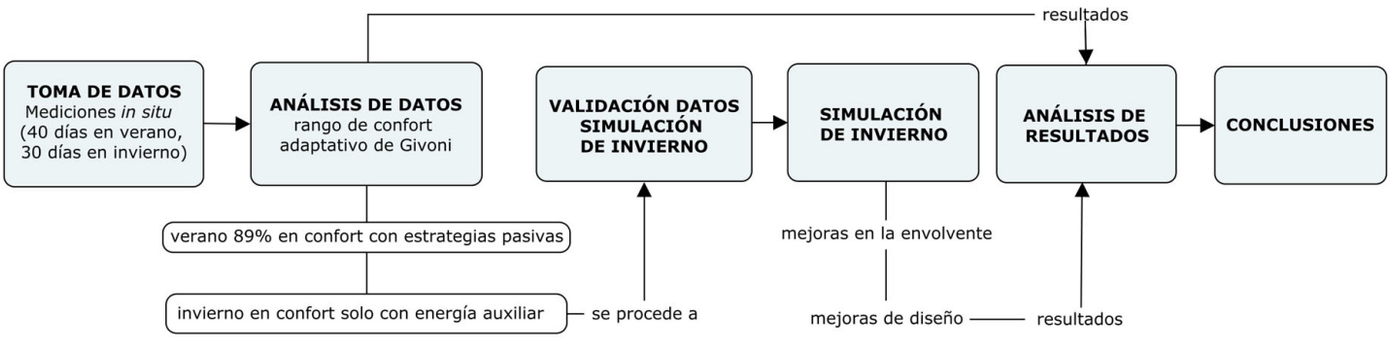

Figura 1. Mapa de flujos del proceso metodológico. Fuente: Elaboración de las autoras en software CmapTools.

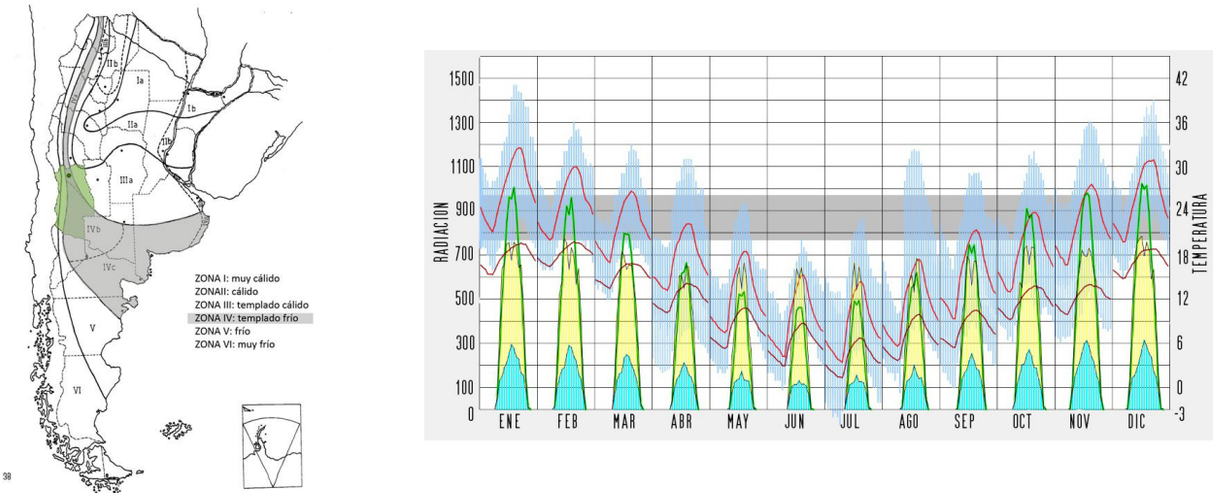

Figura 2. a) Zonas bioambientales de Argentina. b) Promedios diarios mensuales de temperatura y radiación solar de la ciudad de Mendoza. Fuente: Adaptación de las autoras en base a Norma IRAM 11603 y gráfico realizado por las autoras en Climate Consultant 5.0, archivo climático EPW en http://climate.onebuilding.org/

El comportamiento del usuario es uno de los principales factores de incertidumbre en el desempeño térmico de una vivienda (Andersen, Fabi y Corgnati, 2016; Cuerda Guerra-Santin y Neila González, 2017; Wagner y O'Brien, 2018) y varía en relación al clima y las costumbres. Es por esto fundamental analizar las variables que influyen en su conducta y, a su vez, la forma en que dicha conducta afecta el desempeño térmico edilicio, para poder así delinear las pautas a seguir a futuro en el diseño y rehabilitación de las viviendas de la ciudad de Mendoza.

El objetivo del trabajo expuesto es comprender y cuantificar el comportamiento de uso y gestión de los habitantes de viviendas en la ciudad de Mendoza. Se busca identificar patrones de comportamiento del usuario y la influencia de estos en el logro del confort térmico interior en las estaciones de verano e invierno, mediante el uso de estrategias de diseño bioclimático. La relación de estas variables proporciona las bases empíricas para la representación del comportamiento del usuario en modelos de simulación edilicia.

METODOLOGÍA

En la presente investigación se utilizó un diseño convergente paralelo de toma de datos, para estudiar el comportamiento de los ocupantes de una vivienda caso de estudio en la ciudad de Mendoza, Argentina. Los diseños convergentes de investigación paralela permiten a los investigadores cuantificar las acciones de los ocupantes y obtener una mejor comprensión de la causa y el efecto (Wagner y O'Brien, 2018). Un diagrama de flujos del proceso metodológico se muestra en la Figura 1:

CASO DE ESTUDIO

La ciudad de Mendoza se encuentra situada en el límite oeste de Argentina a 32° 40´ latitud sur y 68° 51´ longitud oeste; y a 750 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen (Kottek, Grieser, Beck, Rudolf y Rubel, 2006),

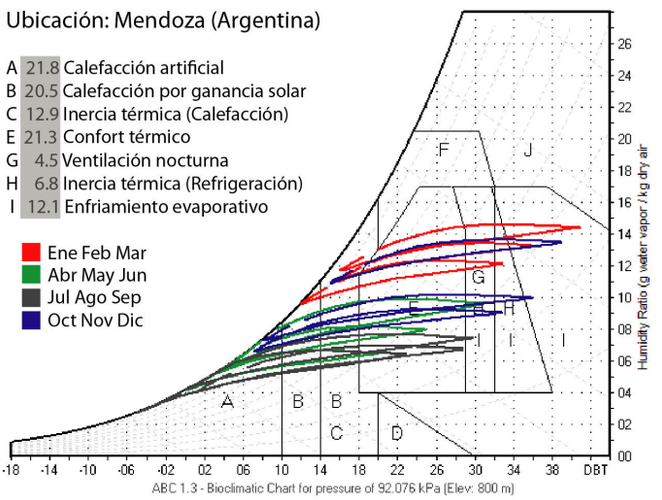

Figura 3. Carta psicrométrica para Mendoza. Fuente: Elaboración y adaptación de las autoras en base al gráfico elaborado en software ABC.

la caracterización climática responde a la de BWk, lo que corresponde a clima árido con veranos calurosos e inviernos fríos secos. Según la norma IRAM 11603 (Figura 2a), pertenece a la zona bioambiental IVa, templado frío. Este clima se caracteriza por grandes amplitudes térmicas diarias y estacionales, presenta temperaturas absolutas que varían entre -6°C en invierno y 39°C en verano, con variaciones diarias de aproximadamente 10°C a 20°C y con baja humedad relativa (promedio anual de 54,7%). Para la ciudad de Mendoza, los grados día de calefacción (base 18°) son de 1384°C día /año y la temperatura mínima de diseño es de -1.9°C. La ciudad presenta un promedio anual de precipitaciones de 218 mm, con un elevado índice de radiación solar y una alta heliofanía (Figura 2b).

Para la arquitectura de este clima, varios autores (Olgyay, 1998; Givoni, 1992; Serra Florensa y Coch Roura, 1991) han estudiado y propuesto estrategias bioclimáticas adecuadas, incorporando todas ellas, como factor común, el principio de ser sistemas flexibles, es decir, elementos o conjuntos de elementos que pueden cambiar fácilmente su acción ambiental a partir de las circunstancias climáticas. Se consideran, aquí, los rangos de confort sugeridos por Givoni (1992), de 18°C – 25°C, en invierno, y 20°C – 27°C, en verano. Las estrategias recomendadas para el clima de Mendoza, según se analiza en la carta psicrométrica (Figura 3) propuesta por el mismo autor, son principalmente las de acondicionamiento solar pasivo, efecto de masa térmica y ventilación natural nocturna. Es importante señalar que las medidas posibles de implementar en este clima podrían lograr confort en verano solamente con el aprovechamiento de las estrategias pasivas. Sin embargo, en invierno se observa claramente que las estrategias pasivas no son suficientes para conseguir el confort interior en los días más fríos, siendo necesario el aporte de calefacción auxiliar.

La ciudad de Mendoza forma parte del conglomerado denominado Gran Mendoza o Área Metropolitana de Mendoza (AMM), que es el núcleo de mayor densidad poblacional de la provincia, albergando al 64% de la población. La estructura urbana se caracteriza por su trama en damero, con arbolado en alineación; asimismo, la disposición de los lotes muestra el predominio de viviendas de tipo adosadas, entre medianeras (Stocco, Cantón y Correa, 2013; Sosa, Correa y Cantón, 2016). El 87.5% de las viviendas del AMM son del tipo viviendas unifamiliares de baja altura (DEIE, 2019). Al ser esta la tipología residencial más representativa, en el presente trabajo se seleccionó como caso de estudio una vivienda unifamiliar ubicada en el centro urbano de la ciudad, construida entre medianeras (Figuras 4a, 4b y 4c). La tecnología constructiva de la misma es de tipo tradicional para Mendoza, con muros de ladrillo macizo revocados en ambas caras, sin aislación térmica (K= 2.59W/m^{2}k). Las carpinterías son metálicas, de chapa plegada y vidrio simple de 4mm (K= 5.7W/m^{2}k). Posee techos inclinados de madera, los cuales cuentan con aislación térmica de poliestireno expandido de 5 cm de espesor; y, por último, la terminación exterior es de tejas cerámicas (K= 0.93W/m^{2}k). Cabe mencionar que la vivienda no posee sistemas de refrigeración en ninguno de sus ambientes, solo dispone de un ventilador de techo en el dormitorio sur y un ventilador de pie en planta baja. El sistema de calefacción se compone de dos estufas a gas natural, una localizada en el dormitorio sur y la otra, en planta baja, en el espacio del estar - comedor.

TOMA Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Se midieron datos *in situ* de temperatura y humedad relativa, por medio de la colocación de cuatro micro-adquisidores de datos HOBO U10: uno, en el exterior (protegido de la radiación solar directa) y tres, en distintos espacios en el interior de la vivienda (Figura 4a). Todos fueron dispuestos de manera que quedaron suspendidos en el centro de cada habitación, a alturas equivalentes (aproximadamente a 2m del nivel del piso), para mantenerlos alejados de la influencia de elementos constructivos con masa. En este estudio se trabajó con el estar comedor (Figura 4c), por lo que solo se consideraron los datos del micro-adquisidor colocado en dicho ambiente y el del exterior. Las mediciones interiores restantes fueron utilizadas para los fines correspondientes al ajuste del modelo.

Se tomaron dos periodos de medición: uno de 40 días y otro de 30 días, en los meses de enero y febrero, y entre julio y agosto de 2017 (estaciones de verano e invierno, respectivamente, para el hemisferio sur). El intervalo para la toma de datos se fijó en 15 minutos y se procesó la información con los programas HOBO ware pro, Excel y R studio. Paralelamente, se realizó el registro de las acciones de uso y gestión implementando

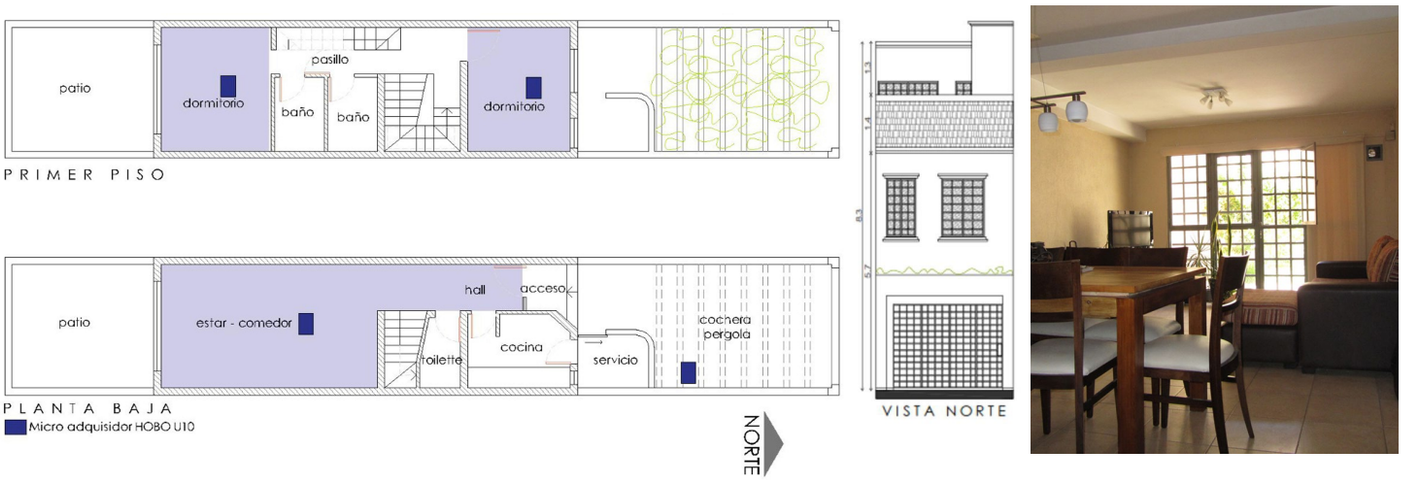

Figura 4. a) Planos de planta con ubicación de los micro-adquisidores HOBO U10. b) Plano de vista frontal de la vivienda. c) Fotografía del ambiente en estudio. Fuente: Elaboración de las autoras.

la metodología de recolección de datos de encuestas de monitoreo en forma de "diario" (De Simone, Carpino, Mora, Gauthier, Aragon y Harputlugil, 2018), la cual consiste en planillas de auto-completado con entradas estructuradas, también llamadas "encuestas de uso del tiempo" (TUS, por sus siglas en inglés). Esta metodología tiene la ventaja de ser comparable y replicable siempre que se utilice la misma estructura de planilla. En ellas se consideraron: fecha, temperaturas pronosticadas diarias, lluvia, heliofanía, condición de uso controlada, horario de ocupación, cierre de aberturas, apertura de aberturas, uso de ventilador, sensación de confort diurno y nocturno de acuerdo a la escala de sensación térmica entre +3 y -3 (ASHRAE, 2008), velocidad del aire exterior según Escala de Beufort (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2018) y observaciones.

Las planillas TUS se presentaron al usuario en forma de cuadros de doble entrada de auto-completado, donde el mismo completa los ítems solicitados de acuerdo a su percepción u observación. Para su correcta ejecución, se establece previamente una escala pre-armada de las variables consideradas, las cuales luego se cotejan con las mediciones obtenidas en el centro de investigaciones ubicado a menos de 2 km.

Así, se registraron datos bajo condiciones controladas probando distintas oportunidades de interacción de los usuarios con la envolvente y los sistemas de la vivienda. Dentro del primer periodo de 40 días, los datos se diferenciaron en ciclos de entre 10 a 15 días cada uno. Durante el primer ciclo los usuarios promovieron la gestión de la envolvente para posibilitar la ventilación nocturna de la vivienda. De igual modo, durante el segundo ciclo mantuvieron las ventanas abiertas durante el día y la noche, conservando fija esta variable, y adaptándose al ambiente mediante el uso de sistemas (ventiladores). Durante la quincena de ausencia por vacaciones, se tomaron los registros de los días sin gestión de la envolvente. Si bien en los casos ventilados pudo aparecer un aporte de ventilación desde otras habitaciones, se consideró que los resultados obtenidos eran válidos para el análisis del comportamiento del usuario y la relación con la adaptación al entorno térmico interior de verano planteado en los objetivos.

En invierno, dentro del periodo de 30 días auditado, se analizó tanto la influencia de la calefacción auxiliar en los días con ocupación como el desempeño térmico de la vivienda en los días sin ocupación. Estos últimos facilitaron el ajuste del modelo teórico de simulación orientado al aprovechamiento de la ganancia solar directa.

SIMULACIÓN TÉRMICA

Llegado a este punto, se llevó a cabo una simulación del caso de referencia auditado con el programa Energy Plus versión 8.8 (National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2017). Se construyó la maqueta con el *plugin* para Sketchup, dividiendo la vivienda en 5 zonas térmicas y se supuso una tasa de infiltración constante de 1 renovación de aire por hora para todas las zonas en contacto con el exterior. Se elaboró un archivo de clima .epw con los datos climáticos medidos en el microclima exterior de la vivienda. La simulación se lanzó contemplando 10 días previos a las fechas seleccionadas, para permitir que el modelo entrara en régimen antes de la fecha a evaluar. A fin de disminuir la cantidad de variables involucradas, se utilizó un periodo de medición sin energía auxiliar y sin ocupación de la vivienda. Se procedió, entonces, a ajustar el modelo de simulación mediante el ajuste de los datos simulados con los datos medidos. Se logró obtener un modelo validado con el propósito de estudiar en simulaciones posteriores el desempeño térmico de la vivienda en escenarios no factibles de ser monitoreados *in situ*.

La Figura 5 muestra el ajuste obtenido para el ambiente en estudio: las temperaturas horarias medias medidas y simuladas ajustan en un promedio de 1°C, lo que se

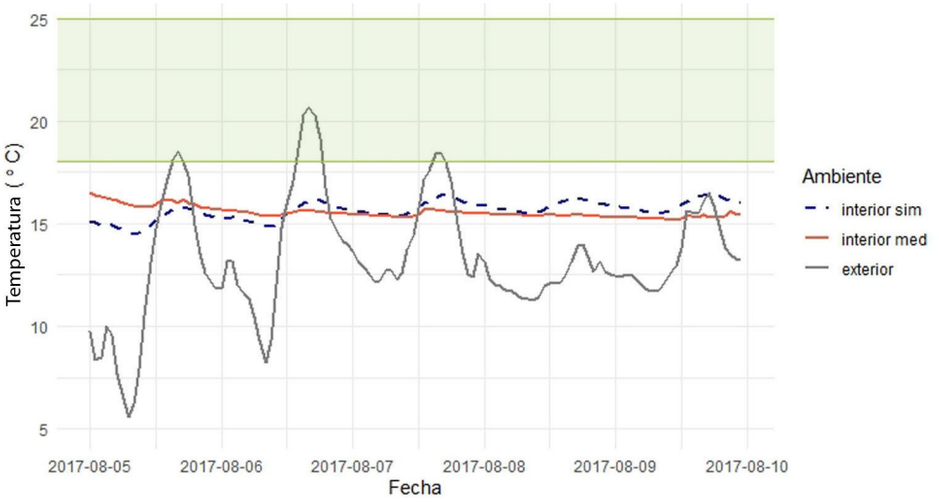

Figura 5. Ajuste del modelo de simulación. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

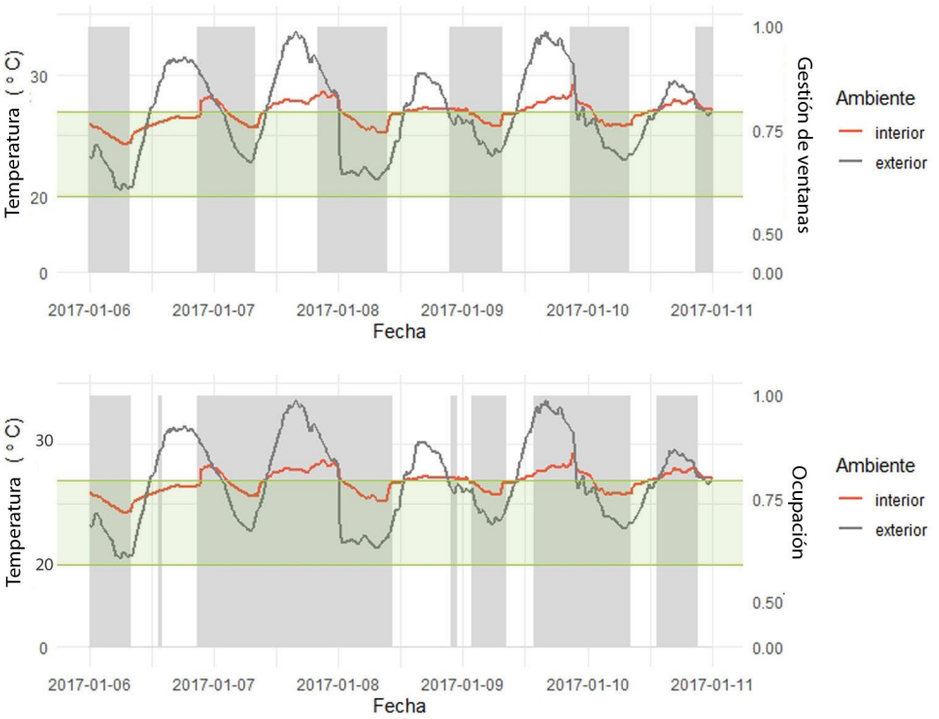

Figura 6. a) Temperatura exterior e interior de verano y gestión de ventanas para ventilación nocturna. b) Temperatura exterior e interior de verano ocupación. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

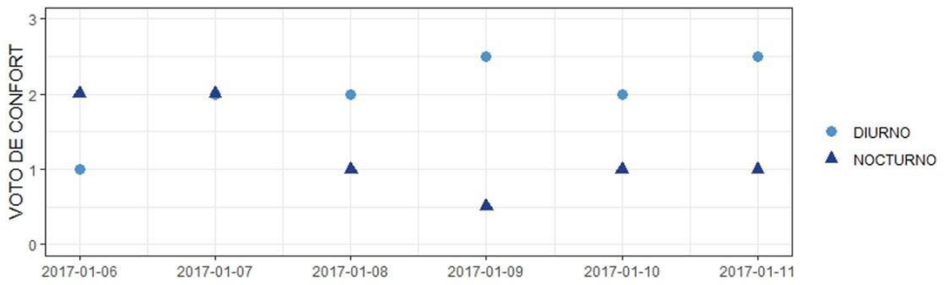

Figura 7.Datos de voto de sensación de confort térmico. Periodo gestión de ventanas para ventilación natural nocturna. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

consideró suficiente para la obtención de un modelo validado (Filippín y Larsen, 2005).

Una vez validado el modelo fue posible realizar cambios en la materialidad de la envolvente y de diseño, lográndose, en consecuencia, simular el desempeño térmico de la vivienda en escenarios no factibles de ser monitoreados *in situ*.

Para poder conocer el potencial de mejora pasiva en invierno, se simuló el modelo contemplando la incorporación de mejoras en la resistencia térmica de la envolvente edilicia. A continuación, se realizó una nueva simulación adicionando también cambios en la orientación de la fachada colectora del ambiente en estudio, la que fue orientada hacia el norte (hacia el Ecuador en el hemisferio sur).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan, en seguida, los resultados del análisis de los datos obtenidos en forma paralela, tanto de la medición de temperatura y humedad en la vivienda caso de estudio, como del registro de las conductas de los usuarios en planillas TUS. Los datos corresponden a ciclos representativos dentro de los periodos de estudio realizados en el ambiente "estar-comedor" de la vivienda caso de estudio y en el exterior de la misma. Dichos datos se organizan en dos grupos:

Verano:
a. Auditoría con ocupación. Gestión de ventanas para favorecer la estrategia de ventilación natural nocturna.
b. Auditoría con ocupación. Gestión de ventanas poco comprometida y uso de ventilador.

Invierno:
a. Auditoría con ocupación y aporte de energía auxiliar.
b. Auditoría sin energía auxiliar. Validación de modelo de simulación.
c. Simulación sin ocupación, con mejoras en la envolvente.
d. Simulación sin ocupación, con mejoras de diseño y en la envolvente.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VERANO

En las Figuras 6 se exponen los resultados del primer ciclo de análisis de verano. En la Figura 6a, se expresa la gestión de ventanas y en la Figura 6b, los patrones de ocupación; ambos gráficos se elaboraron en relación al desempeño térmico de la vivienda.

Se observa en los citados gráficos una relación entre la acción de abrir y cerrar ventanas, y el compromiso de favorecer la ventilación natural nocturna, para una mejor sensación de confort interior. Los datos del registro de ocupación y gestión de aberturas graficado en barras grises (barra llena = abierto/con ocupación; barra vacía=cerrado/sin ocupación), muestra coincidencia entre el horario de salida de los usuarios por la mañana, para ir a trabajar, y el de cierre de las ventanas en la mayoría de los casos. Por otro lado, el registro de apertura de ventanas no coincide con los horarios de ocupación, lo que indicaría que esta acción está asociada, en mayor medida, a la gestión consciente de la envolvente en la búsqueda por lograr confort.

Se advierte en los gráficos 6a y 6b que la temperatura exterior (línea gris) varía entre 21.5°C y 33.5°C, marcando una amplitud térmica de 12°C en promedio para este periodo. Las temperaturas interiores (línea roja) se encuentran dentro del rango de confort en prácticamente todo el periodo observado, superando los 27°C en menos de 1°C los días 07 y 09.

Al comparar los datos de medición con el registro de uso y gestión, se distingue que los días en los cuales la temperatura supera el rango de confort corresponden a una apertura anticipada de las aberturas (barras grises), que no coincide con el descenso de temperatura en el exterior. Este efecto se pudo constatar claramente el día 06/01, cuando los usuarios retornaron a la vivienda, a las 21h, horario en que la temperatura exterior superaba a la interior en 4°C. Al abrir inmediatamente las ventanas, suponiendo un horario correcto (nocturno) de ventilación, la temperatura interior se vio incrementada de manera brusca, para empezar a descender pasadas las 24h. Los usuarios manifestaron, efectivamente, encontrar la casa más fresca al momento de llegar.

Los registros de voto de confort (Figura 7) revelan que, si bien los usuarios no se encontraron dentro del rango aceptable (>-5 y <+5) de la escala de sensación térmica de confort (ASHRAE, 2008), este valor fue cercano, sobre todo, por la noche al realizar la apertura de ventanas y permitir el ingreso de aire fresco y el refrescamiento de la masa térmica.

En la Figura 8 se indican los resultados del segundo ciclo de análisis de verano. Se analizaron patrones de ocupación y de uso de ventiladores en relación al desempeño térmico de la vivienda. Los usuarios mantuvieron las ventanas abiertas durante todo el día y la noche.

A partir de los gráficos es posible identificar una variación de la temperatura del ambiente interior (entre los 23 y 33.5°C.), influida directamente por la variación de temperaturas en el exterior de la vivienda (entre 21.5°C y 37°C), al encontrarse las ventanas abiertas de forma permanente. Las horas de ventilación nocturnas son insuficientes para acondicionar el ambiente interior, dada la acumulación de temperatura en el interior y

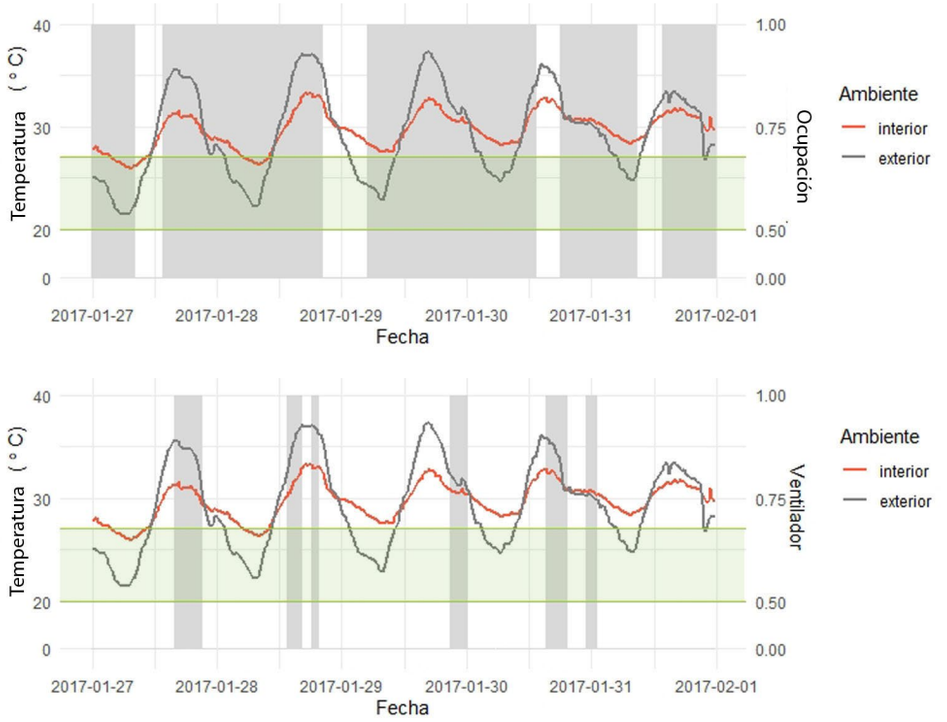

Figura 8. a) Temperaturas exterior e interior de verano, ventanas siempre abiertas, gestión de ventilador. b) Temperaturas exterior e interior de verano y registro de ocupación. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

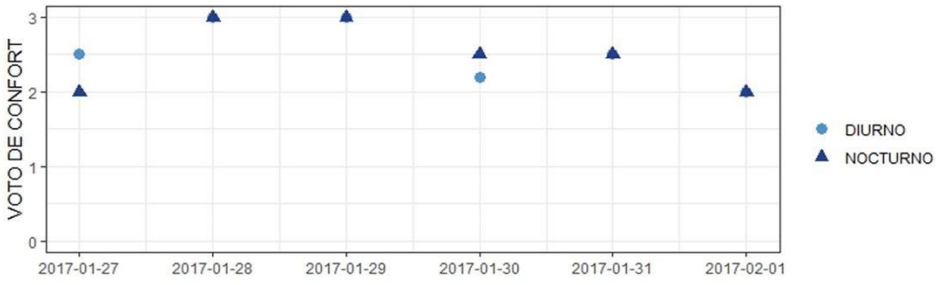

Figura 9. Datos de voto de sensación de confort térmico. Periodo de ventanas siempre abiertas. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

en los materiales másicos durante las horas de ingreso de aire caliente en el día, que no llega a ser disipado con la ventilación natural nocturna.

Las temperaturas interiores del ambiente en estudio (línea roja) se hallan por encima del rango de confort en todo el periodo estudiado, con excepción de algunos horarios nocturnos. El patrón de uso del ventilador, se observa coincidente con las máximas temperaturas diurnas y a primera hora de la tarde.

Se evidencia en este caso la falta de confort manifestada por los usuarios en todo el periodo (Figura 9) con valores que llegan a +3 (muy caluroso) en la escala de confort (ASHRAE, 2008) y en el uso intensivo de ventilador, principalmente en los horarios donde la temperatura alcanzó las máximas diarias (Figura 8b).

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE INVIERNO

A continuación, se presentan los resultados de la auditoría realizada en un periodo de invierno con presencia de los usuarios y aporte de energía auxiliar para calefacción.

Pese a que el registro de ocupación de toda la vivienda (Figura 10) no muestra relación con el encendido y apagado de estufa a gas presente en el espacio estudiado, el uso de la misma coincide con la ocupación de este ambiente. Se destaca especialmente la coincidencia del horario en que los ocupantes de la vivienda se acuestan a dormir por la noche, ya que, al trasladarse al dormitorio principal ubicado en planta alta, estos apagan la calefacción del ambiente de planta baja (en estudio), para encenderla en la mañana, temprano, al levantarse a desayunar.

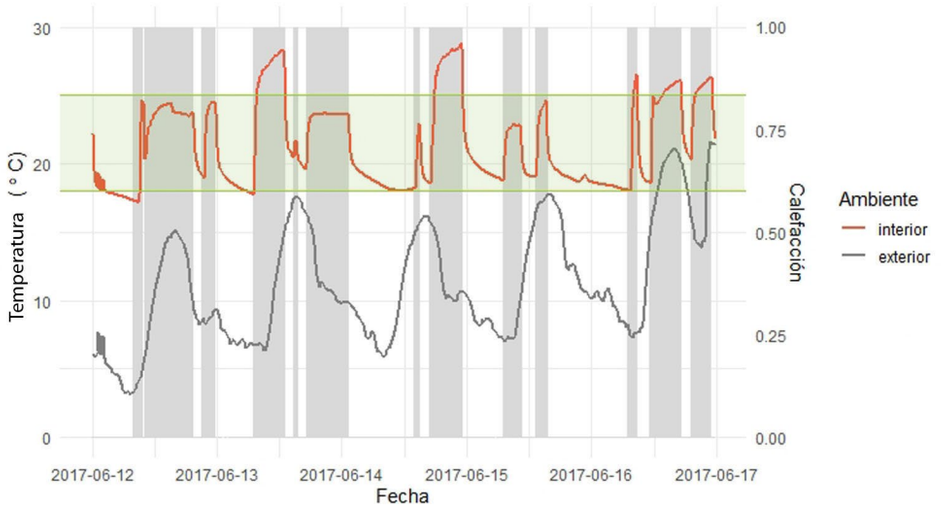

Figura 10. Temperaturas exterior e interior de invierno y uso de calefacción. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

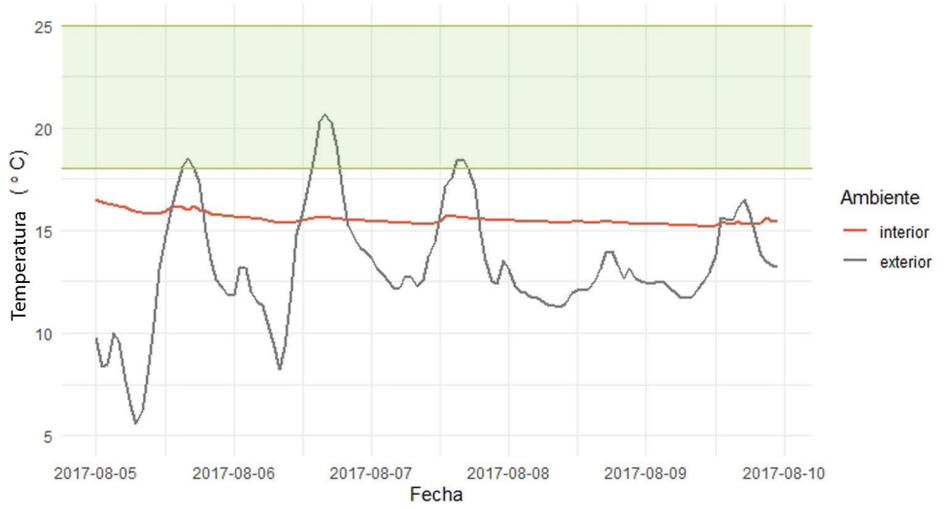

Figura 11. Temperaturas exterior e interior en invierno, sin ocupación. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

Es evidente la baja calidad de la envolvente y la escasa posibilidad de aprovechamiento del recurso solar que presenta la vivienda, lo que imposibilita el aprovechamiento de las estrategias pasivas recomendadas para este clima en invierno. La rápida pérdida de temperatura al apagar la estufa, suponen reducciones importantes en el aporte de energía auxiliar para calefacción si se incorporan mejoras en la envolvente edilicia.

En la Figura 11 se presentan los resultados del periodo de análisis de invierno sin energía auxiliar, el cual fue utilizado previamente para la validación del modelo a simular. En este gráfico se advierte que la temperatura interior del ambiente en estudio se mantiene muy por debajo de la zona de confort, desaprovechando la amplitud térmica exterior y el recurso solar.

La Figura 12 ilustra los resultados del primer periodo de simulación de invierno. Se proponen mejoras en la calidad de la envolvente, adicionando 5 cm de aislación térmica exterior en muros (poliestireno expandido de 5 cm de espesor), a partir de lo cual se consigue un valor de transmitancia térmica de K=0.63W/m^{2}k, y modificando las carpinterías existentes de chapa plegada y simple vidrio por unas de aluminio con doble vidrio de 4mm DVH (K=4W/m^{2}k). En igual sentido, se plantea la posibilidad de cerrar la conexión mediante la escalera de la planta baja con la planta alta para evitar un intercambio de temperatura entre la planta baja y la planta alta por efecto de la estratificación. Se reduce la superficie de abertura en la fachada sur del ambiente analizado en un 38%, de modo que esta termina midiendo 3.36 m^2.

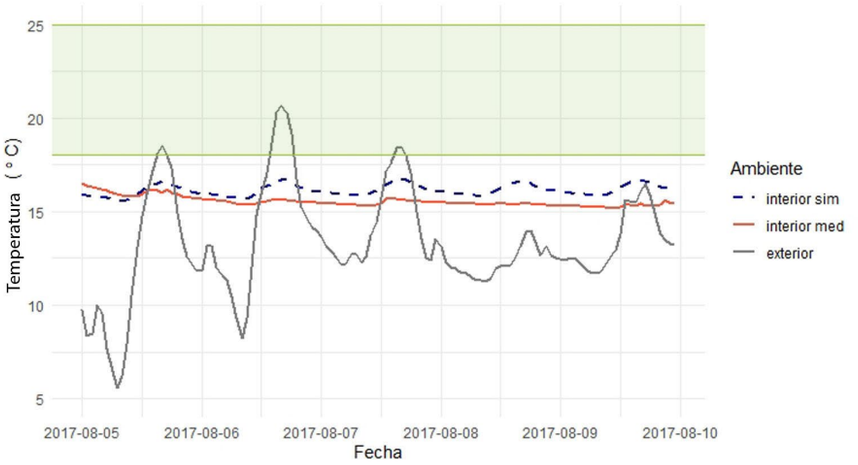

Figura 12. Temperaturas exterior e interior en invierno, simuladas, sin ocupación, con mejoras en la envolvente. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

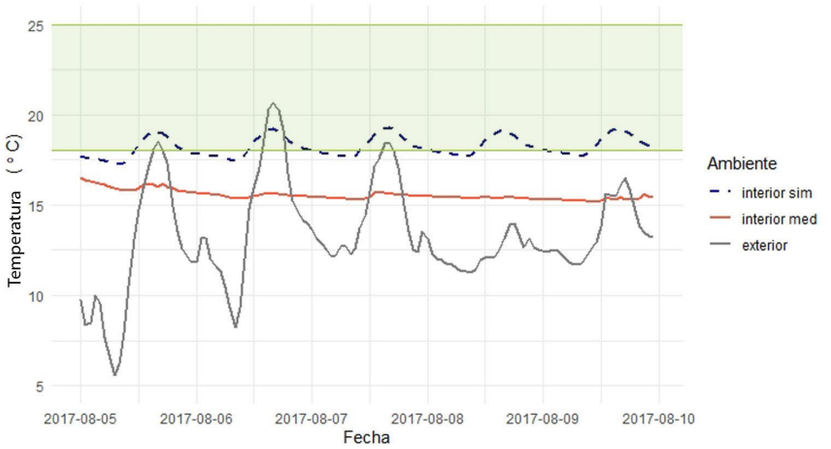

Figura 13. Temperaturas exterior e interior en invierno, simuladas, sin ocupación, con mejoras en la envolvente y diseño. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

Como se aprecia, a pesar de las mejoras propuestas, la temperatura interior simulada (línea azul segmentada) sólo se elevó por sobre la monitoreada (línea roja continua) en 1°C en horas de la noche y 2°C durante el día, quedando por debajo del rango de confort durante todo el periodo de simulación.

Igualmente, en el periodo simulado, las temperaturas interiores se aproximaron al rango de confort solamente en una pequeña franja horaria entre las 14h y las 18h, no logrando superar los 18°C, lo que manifiesta una escasa ganancia solar diurna.

En la Figura 13 se expresan los resultados del mismo periodo de simulación. En este caso, se propone evaluar el resultado que se obtendría al orientar la fachada del estar comedor hacia el norte (hacia el Ecuador en el hemisferio sur), permitiendo una mayor ganancia solar directa. Se conserva en este análisis el tamaño original de las aberturas de la vivienda, como también las mejoras propuestas en la simulación antes expuesta.

Aquí es posible notar que la temperatura interior simulada se elevó por sobre la monitoreada en 2°C en horas de la noche y hasta en 4.5°C durante el día. Así, al hacer un mejor aprovechamiento de la ganancia solar directa, se logran temperaturas dentro del rango de confort en todo el periodo de análisis.

El aumento de las temperaturas interiores durante la franja horaria que va desde las 12 h p.m. a las 18h demuestra un mejor aprovechamiento de la ganancia solar directa en comparación a la simulación anterior. La diferencia entre las temperaturas interiores y exteriores nocturnas es en promedio de 11°C, lo cual evidencia el efecto de una mejor calidad de envolvente, que impide pérdidas térmicas. Se constata también la importancia del diseño basado en estrategias bioclimáticas para un mejor desempeño térmico.

CONCLUSIÓN

El estudio detallado de patrones de conductas de los usuarios de viviendas en la ciudad de Mendoza es abordado en esta investigación. Los resultados de ella indican que las conductas de los usuarios en relación con el uso y gestión, así como las características térmicas de la envolvente, son parámetros que afectan significativamente el desempeño térmico de viviendas en ciudades de clima templado de gran amplitud térmica diaria y estacional.

El caso estudiado se considera representativo de la tipología y materialidad de las viviendas edificadas y en construcción en Mendoza. El presente trabajo hace visible la importancia de contemplar la implementación de mejoras en la materialidad de la envolvente de viviendas en la ciudad de Mendoza, como son: la aislación térmica en muros y techos, la incorporación de doble vidriado hermético en aberturas, las protecciones solares en las aberturas norte para sombreamiento, las protecciones nocturnas en aberturas al sur, entre otras.

La comparación de los resultados del análisis en periodo estival (Figura 14) demuestra que una buena gestión de la envolvente mediante la ventilación nocturna permite al usuario adaptar el ambiente interior a las condiciones de confort adecuadas sin el consumo de energía auxiliar. Es posible conservar temperaturas inferiores a los 27°C, favoreciendo el logro de confort interior en un 89% de los datos registrados y teniendo en cuenta el total de las horas auditadas independientemente de los periodos, con o sin ocupación.

La percepción térmica del usuario está directamente relacionada con las acciones de apertura y cierre de ventanas. Esta se observa en los días en que el usuario abre las ventanas antes de que la temperatura exterior haya descendido lo suficiente con respecto a la interior, haciendo aumentar esta última. Asimismo, se detectan casos en los que el usuario cierra las ventanas cuando todavía las temperaturas exteriores favorecen la ventilación de la masa térmica.

Por otro lado, acciones menos favorables, como son la apertura constante de ventanas, derivan en la disminución del confort, experimentándose temperaturas por sobre los 33°C. Si se realiza una gestión poco comprometida de ventanas, en la que se deja estas abiertas durante el día y la noche, solo el 22% de los datos registrados presenta temperaturas dentro del rango de confort, por lo que se requiere de sistemas de acondicionamiento auxiliar. Si bien el usuario intenta aplacar el calor mediante el uso de artefactos eléctricos, como lo es el ventilador, la falta de confort en los espacios interiores persiste.

La adecuada utilización de la estrategia de ventilación natural nocturna en la vivienda supone un compromiso constante del usuario en la búsqueda de su estado de confort. La apertura y cierre de las aberturas en los horarios más favorables, sumado al aprovechamiento de la inercia térmica de los materiales constructivos, permite la conservación de temperaturas agradables en el ambiente interior.

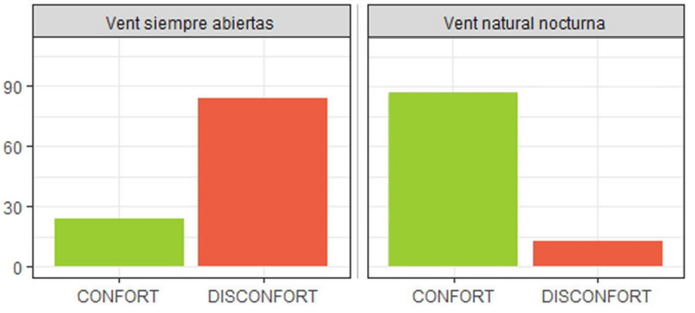

Figura 14. Porcentajes de confort en verano. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

En cuanto a la situación en invierno, es notable la falta de confort en el ambiente estudiado. Esto se podría mejorar incorporando alternativas de diseño pasivo como mejoras en la calidad de la envolvente y mayor superficie de ganancia solar directa. Al simular estas mejoras, se consiguen temperaturas interiores de hasta 19.5°C durante el día, y se conserva una diferencia de 1.5°C entre el día y la noche, sin el uso de sistemas auxiliares de calefacción. Estas medidas permiten una temperatura de confort casi constante, por lo que se requiere un mínimo aporte de calefacción auxiliar. Comparando los resultados de los datos de la auditoría de la vivienda de referencia y las simulaciones realizadas, se concluye (Figura 15) que una buena calidad de envolvente edilicia acompañada de un adecuado diseño de orientaciones favorables para el aprovechamiento de la ganancia solar directa, contribuyen al logro de confort interior en un 60% de los datos registrados. Por otra parte, es evidente en los datos extraídos de la medición *in situ*, que la vivienda de referencia tiene un bajo desempeño térmico en invierno, donde la calefacción auxiliar no es suficiente dado que la baja calidad de envolvente implica grandes pérdidas de temperatura, lo que a su vez repercute en el consumo energético.

Teniendo en cuenta esta evidencia, es inminente que las normativas de edificación locales exijan la incorporación de aspectos técnicos que determinan la calidad de la envolvente. Contemplar los mismos desde el inicio de la etapa de diseño y construcción de viviendas es fundamental para evitar los altos costos asociados a las remodelaciones edilicias.

La metodología aplicada en el análisis expuesto, basada en la aplicación de encuestas de uso del tiempo (cualitativa) y la medición de datos *in situ* (cuantitativa), permite cuantificar las acciones de los ocupantes y obtener una mejor comprensión de la causa y el efecto del fenómeno estudiado. El uso del mencionado método, en conjunto con métodos de análisis estadístico permitiría integrar datos en la variable de conducta del usuario en modelos de simulación edilicia, capaces de optimizar la precisión en la predicción del desempeño térmico y energético en próximos estudios.

En ese contexto, también se identifican importantes potencialidades en las viviendas unifamiliares de la ciudad de Mendoza que permiten al usuario conseguir el confort

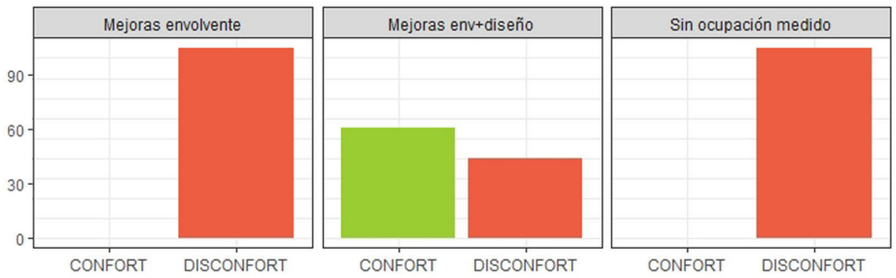

Figura 15. Porcentajes de confort en invierno. Fuente: Elaboración de las autoras en R.

en verano y en invierno mediante la correcta gestión de estrategias pasivas de acondicionamiento térmico edilicio. Cabe destacar, además, el rol activo del usuario y su potencial en relación al logro del confort térmico interior y el ahorro de consumos energéticos. Dicho rol se vincula directamente con la necesidad de comprender el funcionamiento de su vivienda y las acciones a su disposición capaces de modificar la relación interior – exterior de su vivienda, de acuerdo a su conveniencia. Esto repercutirá positivamente en la disminución de los requerimientos energéticos asociados al uso y la gestión.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Fuentes de financiamiento: ANPCYT FONCYT PICT INTERNACIONAL RAICES 2019-02752 (2021-2024). CONICET PIP 11220200101711CO (2021-2023).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso-Frank, A. de las P. y Kuchen, E. (2016). Desarrollo de una herramienta para validar la influencia del comportamiento del usuario sobre la eficiencia energética en edificios públicos de oficinas. *Hábitat Sustentable*, *6*(2), 62–69. Recuperado de http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2502

Agencia Internacional de la Energía [IEA] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP] (2019). Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. *UN Enviroment programme*, *224*. Recuperado de https://www.unep.org/resources/publication/2019-global-status-report-buildings-and-construction-sector

Andersen, R. K., Fabi, V. y Corgnati, S. P. (2016). Predicted and actual indoor environmental quality: Verification of occupants' behaviour models in residential buildings. *Energy & Buildings*, *127*, 105–115. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.074

Andreoni Trentacoste, S. E. y Ganem Karlen, C. (2017). Influencia del uso y gestión de la envolvente en el comportamiento térmico de verano de una vivienda en la ciudad de Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable*, *7*(2), 64–75. DOI: https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.06

Antoniadou, P. y Papadopoulos, A. M. (2017). Occupants' thermal comfort: State of the art and the prospects of personalized assessment in office buildings. *Energy & Buildings*, *153*, 136–149. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.001

Arrieta, G. M. (2020). Valoraciones subjetivas y condiciones objetivas de confort térmico en viviendas. *Arquitecno*, (16), 57-66. DOI: https://doi.org/10.30972/arq.0164553

ASHRAE (2008). *ASHRAE. Proposed addendum d to Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy*. Recuperado de http://www/ashrae.org

Balvedi, B. F., Ghisi, E. y Lamberts, R. (2018). A review of occupant behaviour in residential buildings. *Energy and Buildings*, *174*, 495–505. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.049

Carlucci, S., de Simone, M., Firth, S. K., Kjærgaard, M. B., Markovic, R., Rahaman, M. S., Annaqeeb, M. K., Biandrate, S., Das, A., Dziedzic, J. W., Fajilla, G., Favero, M., Ferrando, M., Hahn, J., Han, M., Peng, Y., Salim, F., Schlüter, A. y van Treeck, C. (2020). Modeling occupant behavior in buildings. *Building and Environment*, *174*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106768

Cuerda, E., Guerra-Santin, O. y Neila González, F. J. (2018). Definiendo patrones de ocupación mediante la monitorización de edificios existentes. *Informes de La Construcción*, *69*(548). DOI: https://doi.org/10.3989/id.53526

D'Amanzo, M., Mercado, M. V. y Ganem Karlen, C. (2020). 10 preguntas de los edificios energía cero: revisión del estado del arte. *Hábitat Sustentable*, *10*(2), 24–41. DOI: https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.02

De Simone, M., Carpino, C., Mora, D., Gauthier, S., Aragon, V. y Harputlugil, G. U. (2018). *Reference procedures for obtaining occupancy profiles in residential buildings* (Issue IEA EBC Annex 66 – Subtask A). Recuperado de http://www.annex66.org/?q=Publication

DEIE (2019). *Encuesta condiciones de vida. Informe anual.* Recuperado de https://deie.mendoza.gov.ar/#!/repositorio-de-novedades/encuesta-de-condiciones-de-vida-informe-anual-2019-286

Deuble, M. P. y de Dear, R. J. (2012). Green occupants for green buildings: The missing link? *Building and Environment*, *56*, 21–27. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.029

Diulio, M. de la P., Netto, G. R., Berardi, R. y Czajkowski, J. D. (2016). Impacto de la envolvente en la demanda de energía en calefacción residencial de la región metropolitana de La Plata, tomando como caso testigo el reciclado energético de una vivienda. *Ambiente Construido*, *16*(1), 55–70. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100060

Filippín, C. y Larsen, S. F. (2005). Comportamiento termico de invierno de una vivienda convencional en condiciones reales de uso. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, *9*, 67–72. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/82337

Flores-Larsen, S., Filippín, C. y Barea, G. (2019). Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina. *Energy and Buildings*, *184*, 216–229. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.015

Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, *18*(1), 11–23. DOI: https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K

Göçer, Ö., Candido, C., Thomas, L. y Göçer, K. (2019). Differences in occupants' satisfaction and perceived productivity in high- and low-performance offices. *Buildings*, *9*(9), 14–18. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings9090199

Hong, T., Yan, D., D'Oca, S. y Chen, C. (2017). Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. *Building and Environment*, *114*, 518–530. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.006

Invidiata, A. y Ghisi, E. (2016). Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. *Energy and Buildings*, *130*, 20–32. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.067

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. y Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, *15*(3), 259–263. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130

Li, J., Yu, Z., Haghighat, F. y Zhang, G. (2019). Development and improvement of occupant behavior models towards realistic building performance simulation: A review. *Sustainable Cities and Society*, *50*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101685

Lopes, M. A. R., Antunes, C. H., Reis, A. y Martins, N. (2017). Estimating energy savings from behaviours using building performance simulations. *Building Research & Information*, *45*(3), 303–319. DOI: https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1140000

Martínez Peralta, C. M. (2016). Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, *25*(47). DOI: https://doi.org/10.24836/es.v25i47.321

National Renewable Energy Laboratory [NREL] (2017). *Energy Plus* (8.8). Recuperado de https://energyplus.net/downloads

Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.* Barcelona: Gustavo Gili.

Palme, M., Carrasco, C. y Gálvez, M. Á. (2016). Estimación del riesgo de sobrecalentamiento y del potencial de refrigeración por ventilación natural de viviendas unifamiliares en ciudades costeras de Chile. *Hábitat Sustentable*, *6*(2), 52–61. Recuperado de http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2621

Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC] (2018). *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/sr15/

Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC] (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. [En prensa]. Recuperado de https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_smaller.pdf

Pérez, M. (2016). Ecoinvolucrate: Alternativa para la sostenibilidad en la Arquitectura. *Estoa.*, *II*(V), 29–35. Recuperado de http://192.188.48.56/ojs/index.php/estoa/article/view/619

Roaf, S. (2018). Building resilience in the built environment. En Trogal, K., Bauman, I., Lawrence, R. y Petrescu, D. (Eds.). *Architecture and Resilience. Interdisciplinary Dialogues* (pp. 143–157). New York: Routledge. DOI: https://doi.org/10.4324/9781315159478-11

Serra Florensa, R. y Coch Roura, H. (1991). *Arquitectura y energía natural.* Barcelona: UPC.

Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. (2018) ¿Cómo clasificamos la intensidad del viento? Recuperado de https://www.smn.gob.ar/noticias/¿cómo-clasificamos-la-intensidad-del-viento?fbclid=IwAR0jUzpuWyuO9CN7uEHhsXBXOeHV2y2eUlSkVrypMupDdaWagNofGCzjgWs

Silva, A. S., Almeida, L. S. S. y Ghisi, E. (2016). Decision-making process for improving thermal and energy performance of residential buildings: A case study of constructive systems in Brazil. *Energy and Buildings*, *128*, 270–286. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.084

Sosa, M. B., Correa, E. y Cantón, M. A. (2016). Morfología urbana y comportamiento térmico de canales viales. Desarrollo de un modelo predictivo para temperaturas máximas. *Urbano*, *19*(33), 66–75. Recuperado de http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/2358

Stocco, S., Cantón, M. y Correa, É. (2013). Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable*, *3*(2), 19–34. Recuperado de http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/432

Wagner, A. y O'Brien, W. (2018). *Exploring Occupant Behavior in Buildings*. Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61464-9

CC BY SA

Recibido 30/08/2021
Aceptado 11/12/2021

HOSPITALES SUSTENTABLES: PARTIDAS CRÍTICAS PARA SU CONSTRUCCIÓN Y EL ROL DE LA INSPECCIÓN TÉCNICA

SUSTAINABLE HOSPITALS: CRITICAL ITEMS FOR THEIR CONSTRUCTION AND THE ROLE OF TECHNICAL INSPECTION

PABLO CANALES
Magíster en Construcción Sustentable
Estudiante, Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile
https://orcid.org/0000-0003-4096-9492
pcanalesn@uc.cl

CLAUDIA VALDERRAMA-ULLOA
Doctor en Mecánica
Académico, Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile
https://orcid.org/0000-0002-1603-9714
c.valderrama@uc.cl

XIMENA FERRADA
Doctora en Ciencias de la Ingeniería
Directora carrera de Ingeniería Civil en Obras Civiles,
Facultad de Ingeniería Universidad del Desarrollo
Santiago, Chile
https://orcid.org/0000-0002-7774-8354
ximenaferrada@udd.cl

RESUMEN

Actualmente, la infraestructura de salud pública en Chile, en sus distintas escalas, presenta avances significativos en la determinación de criterios de diseño en sustentabilidad. Sin embargo, es posible observar que durante su construcción no existen procesos de verificación estandarizados sobre aspectos de sustentabilidad y que la labor de la inspección técnica se centra en el cumplimiento administrativo de los contratos de construcción, más que en la verificación de los aspectos técnicos. La presente investigación propone una lista de partidas y actividades críticas a fiscalizar en la construcción de hospitales para asegurar criterios sustentables en su operación. Luego, se realiza una encuesta a profesionales que participan en el diseño, construcción y fiscalización de obras hospitalarias. Los resultados se jerarquizan con una metodología multicriterio (AHP), a partir de la cual se evidencia una preferencia en la envolvente térmica (20%) e instalaciones térmicas y de ventilación (17%). Finalmente, en base a las debilidades señaladas por los profesionales, se propone un proceso de control y seguimiento a estas partidas y actividades con un rediseño de la labor del Inspector Técnico de Obras.

Palabras clave
infraestructura sanitaria, inspección, sustentabilidad, metodología multicriterio (AHP)

ABSTRACT

Currently, the public health infrastructure in Chile, at its different scales, has made important advances in determining sustainability design criteria. However, it is possible to see that, during its construction, there are no standardized verification processes on sustainability aspects, and that the work of technical inspection focuses on the administrative compliance of construction contracts, rather than on checking technical aspects. This research proposes a list of critical items and activities to supervise hospital construction, to guarantee sustainable criteria in their operation. A survey was also made to professionals involved in the design, construction, and supervision of hospital construction, ranking the results with a multi-criteria methodology (AHP), which showed a preference in the thermal envelope (20%) and thermal and ventilation installations (17%). Finally, based on the weaknesses stated by the professionals, a control and monitoring process of these items and activities is proposed, redesigning the work of the Worksite' Technical Inspector.

Keywords
Health infrastructure, inspection, sustainability, AHP methodology

INTRODUCCIÓN

Criterios relacionados con la satisfacción o el bienestar de los equipos de trabajo profesionales, pacientes y administradores, en conjunto con la eficiencia de los recursos del edificio, deben considerarse durante todas las etapas de un proyecto de construcción, particularmente, en los edificios hospitalarios (Rodriguez, Svensson y Wood, 2020; Soliman-Junior *et al.*, 2021). En ese sentido, se han desarrollado estándares sostenibles en edificios de salud, a través de distintas certificaciones como LEED, WELL o LBC (Allen *et al.*, 2015), las que poseen un crédito llamado "comisionamiento", entendido como el conjunto de procesos que les permitiría realizar la fiscalización del proyecto en todas sus etapas (Lord, Noye, Ure, Tennant y Fisk, 2016). Además, en su aplicación, algunos autores han demostrado que un edificio certificado tiene una productividad adicional de 16% (Vasquez *et al.*, 2013), gracias a la mejora de la iluminación, control de la temperatura, mejora en la calidad del aire interior (Xuan, 2015) y reducción en 15% del ausentismo (Vasquez *et al.*, 2013).

Aun así, durante la operación del edificio no se puede afirmar que los hospitales que han sido certificados con puntajes más altos logran ser más eficientes que aquellos que consiguen menor puntuación (Golbazi y Aktas, 2016). Junto a lo anterior, los edificios de infraestructura pública en salud no siempre cumplen con los criterios sostenibles descritos en la fase de diseño y existen pocos estudios que analicen en detalle las razones de ello (Balali y Valipour, 2021).

Asimismo, durante la fase de construcción de la infraestructura en salud pública no existen procesos de verificación estandarizados de las directrices del proyecto en aspectos de sustentabilidad, lo que podría afectar el ciclo de vida sostenible de estas edificaciones. Los errores en la ejecución de las partidas críticas de la infraestructura de salud tienen diversas consecuencias durante la operación de una edificación (Castro, Mateus y Bragança, 2015), desde mantenciones correctivas excesivas y aumento del gasto público por energía extra de los sistemas energéticos (D´Amanzo, Mercado y Ganem Karlen, 2020), hasta malestar ambiental en las personas que utilizan el edificio, ya sea por sobrecalentamiento, sobreenfriamiento o por mala calidad del aire. En temas constructivos, dichas equivocaciones pueden conllevar aumento de costos de postventa por problemas de humedad o incorrecta impermeabilización, incorrecta ejecución de aislación o errores en las instalaciones sanitarias (Carretero-Ayuso y García, 2018).

De este modo, las labores de Inspección Técnica o Inspección Fiscal de obras públicas en Chile son fundamentales para verificar que lo estipulado en el proyecto se cumpla una vez ejecutado. En concreto, la Inspección Técnica posee dos objetivos principales: 1) inspeccionar las condiciones administrativas, referidas a aspectos financieros, plazos y normativas legales; y 2) inspeccionar las condiciones técnicas, referidas a la ejecución del proyecto para resguardar el cumplimiento contractual entre diseño y ejecución, y así asegurar la estabilidad, durabilidad y habitabilidad del proyecto (Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU], 2007). Sin embargo, ha quedado en evidencia que su labor se centra en el cumplimiento administrativo de los contratos de construcción más que en la verificación de los aspectos técnicos de los proyectos. Los principales problemas, en este contexto, están asociados a la incompatibilidad de los planos de diversas disciplinas, diferencias de criterio entre el personal de oficina y de campo, y a la baja retroalimentación en las metodologías de trabajo (Santelices, Herrera y Muñoz, 2019).

Un estudio de la Contraloría General de la República (Moscoso, 2017) indica que la observación de mayor relevancia en contratos de obra públicas de salud es el incumplimiento de aspectos técnicos, mientras que otros estudios académicos verifican que las falencias en los procesos de diseño son el principal factor que incide en los problemas que se desencadenan en las obras (Montiel-Santiago, Hermoso-Orzáez y Terrados-Cepeda, 2020). Esto refleja la necesidad de contar con protocolos y normas constructivas que se incorporen desde el inicio del diseño y que sean acompañadas de una efectiva inspección técnica de obra enfocada en la correcta funcionalidad de las características de los sistemas e instalaciones en establecimientos hospitalarios.

El presente estudio identifica las partidas críticas -conjunto de actividades o faenas de las etapas constructivas de un proyecto (Instituto Nacional de Normalización [INN], 1999a)- que deben ser inspeccionadas en la ejecución de una obra de salud y que impactan en su ciclo de vida sostenible, entre ellos, la calidad del ambiente interior y la eficiencia en el consumo energético o de agua durante la operación. En ese marco, se realizó, por una parte, un análisis de las actividades críticas de una partida, con el fin de identificar criterios sustentables de diseño que requiriesen ser asegurados para la fase de operación. Por otra parte, la información se validó mediante una encuesta realizada a profesionales que participan en el diseño, construcción y fiscalización de obras hospitalarias. Los resultados se analizaron con la metodología de priorización AHP para jerarquizar las partidas y actividades críticas y detectar las posibles debilidades que observan estos profesionales en su labor. Finalmente, en base a las preguntas abiertas de la encuesta, se propuso un proceso simplificado de seguimiento a partidas y actividades críticas capaz de utilizarse en todo el ciclo de un proyecto de infraestructura de salud pública con énfasis en la etapa de ejecución.

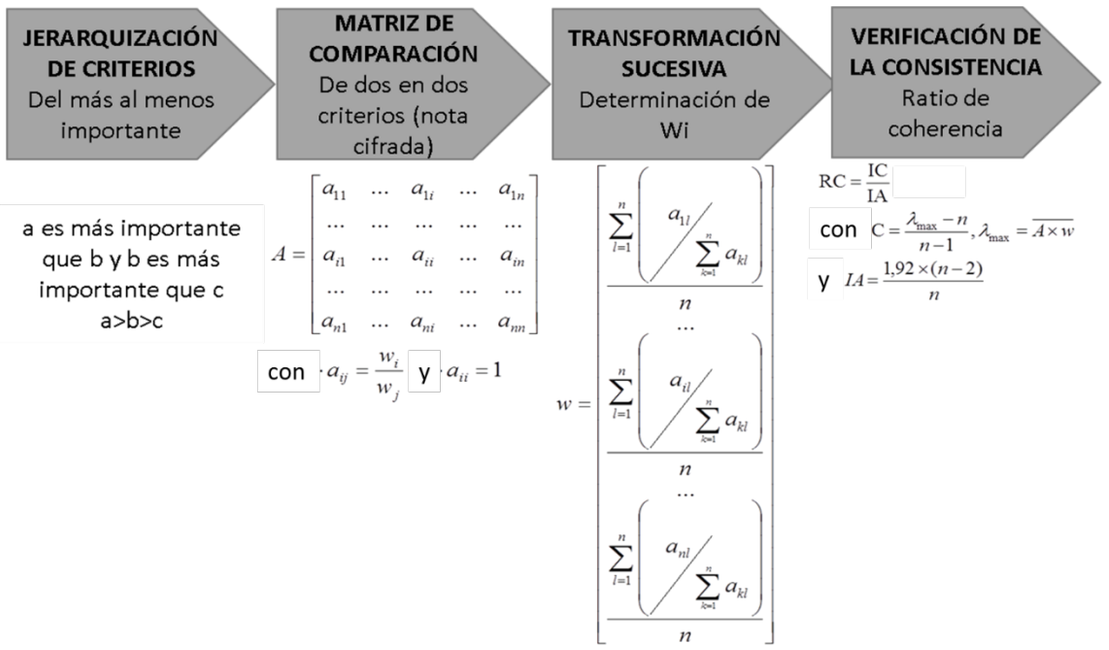

Figura 1. Etapas de la metodología AHP. Fuente: Elaboración de los autores a partir de Saaty (1977; 2008).

METODOLOGÍA

Esta investigación plantea un proceso simplificado de inspección de hospitales, con énfasis en la ejecución. Para su exposición, el presente artículo se ha dividido en tres etapas.

En la primera fase, se presenta una descripción y un análisis del contexto de los establecimientos hospitalarios en Chile, en aras de entender cómo funciona su gestión, y se profundiza en la inspección técnica de las obras.

En la segunda etapa, se determinan las partidas y actividades críticas que se deben fiscalizar en el proceso de construcción de centros hospitalarios; labor que se alimenta de los requerimientos que componen la Certificación de Edificio Sustentable [CES] de Hospitales (Instituto de la Construcción [IC], 2017). Luego, se jerarquizan las partidas y actividades críticas a través de una encuesta aplicada a profesionales que participan en el diseño, construcción y fiscalización de obras hospitalarias.

El grupo de profesionales fue seleccionado considerando experiencia en el diseño, seguimiento e inspección directa de proyectos de salud de al menos 5 años. Los profesionales consultados fueron 9 arquitectos y 7 ingenieros, así como 10 inspectores técnicos.

La encuesta se desarrolló en tres partes. Primero, se debía responder la pregunta ¿cuáles de las partidas/actividades son más importante de fiscalizar durante la construcción de un hospital para asegurar que la ocupación/explotación del edificio cumpla con estándares sustentables? Para responder, se les pidió que eligieran, en pares, las partidas críticas más importantes a evaluar en la ejecución de proyectos hospitalarios y, en seguida, entre cada actividad crítica de cada partida. En segundo lugar, se consultaron opiniones respecto a los procesos de inspección, tales como: ¿qué dificultades se presentan en obra para fiscalizar las partidas o actividades anteriormente mencionadas? y ¿qué medidas se podrían implementar en obra para asegurar la correcta ejecución de las partidas y actividades? Por último, se les preguntó su opinión sobre la necesidad de apoyar la labor de la inspección técnica con la inclusión de otro profesional, y se les solicitó describir y/o comentar la labor que ejerce el inspector técnico. La segunda y tercera parte de la encuesta permitieron proponer un nuevo proceso de seguimiento y control durante la fase de construcción encaminado a asegurar los estándares sustentables definidos durante la fase de diseño.

Los resultados de la comparación de pares de alternativas de partidas y actividades se priorizaron a través de un método de priorización multicriterio, en el que se calcula un peso (w_i) para cada alternativa presentada, realizando una comparación de dos por dos de todos los criterios. El método seleccionado fue el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), de Saaty (2008), por su gran popularidad para determinar la priorización en problemas muy variados como política, aspectos sociales, deseos personales, educación, industria o ingeniería (Valderrama-Ulloa y Puiggali, 2014; Darko *et al.*, 2019; Emrouznejad y Marra 2017). Las diferentes etapas de la priorización de AHP se ilustran en la Figura 1.

En este punto, cada alternativa se compara con un par, a través de 5 niveles. Por ejemplo, se puede constatar

Revista Hábitat Sustentable Vol. 11, N°. 2. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 22 -33
https://doi.org/10.22320/07190700.2021.11.02.02

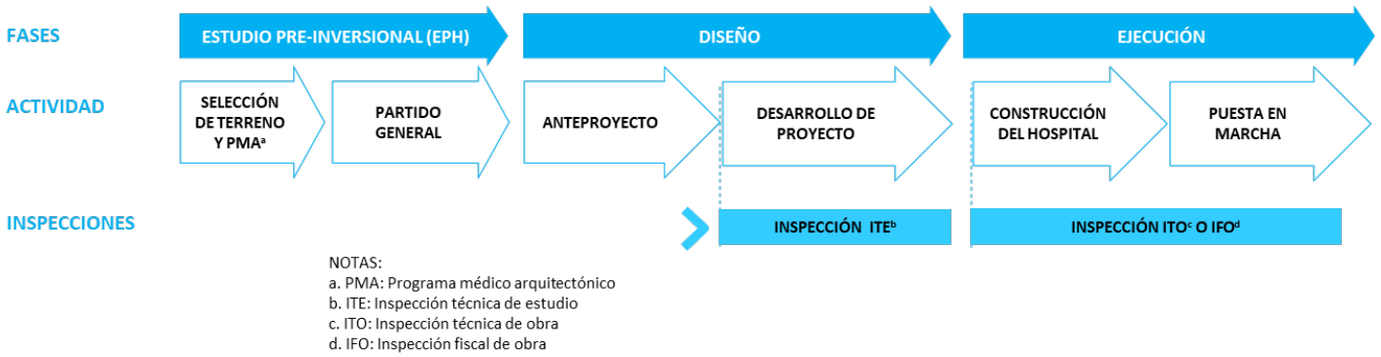

Figura 2. Esquema del proceso de construcción de un hospital. Fuente: Elaboración de los autores.

si la partida envolvente es "mucho más importante", "importante", "igual", "menos importante" o "mucho menos importante" que la partida terminaciones. Los resultados de la votación dan lugar a la matriz A de comparaciones pareadas de n alternativas. Después, se realizan transformaciones sucesivas para la determinación de w_i, que será el porcentaje de priorización. Posteriormente, se determina el nivel de consistencia (RC) para comprobar si el resultado es o no "razonable", con valores entre 0,20 a 0,10.

En la tercera etapa y final, en base a los comentarios recibidos en la encuesta, se propone un proceso simplificado de inspección de hospitales, con énfasis en criterios mínimos de sustentabilidad a fiscalizar en las partidas y actividades que tienen relación con estos criterios durante la construcción de establecimientos hospitalarios.

ANTECEDENTES

ESTABLECIMIENTOS HOSPITALARIOS

El Ministerio de Salud de Chile (MINSAL) tiene, dentro de sus funciones, fijar las políticas y normas de inversión en infraestructura y equipamiento de los establecimientos públicos que integran las redes asistenciales (MINSAL, 2017). Para tales efectos, la Subsecretaría de Redes Asistenciales es la encargada de regular y supervisar el funcionamiento de las redes de salud a través del diseño de políticas, normas, planes y programas para su coordinación y articulación. En ese marco, cada proyecto debe cumplir con todos los requerimientos normativos que emanan desde el MINSAL en lo relativo a disposiciones sanitarias, calidad de la atención y satisfacción del usuario, como también en cuanto a los criterios y lineamientos con los cuales se desarrollarán los diseños. En general, el desarrollo de los proyectos hospitalarios se divide en las fases de estudio pre-inversional o pre-diseño, diseño (Figura 2) y ejecución. En la actualidad, las labores de inspección comienzan en la fase de diseño junto con el desarrollo del proyecto por equipos de inspección técnica de estudios, y una vez en la fase de ejecución se desarrolla la inspección técnica de obra.

Los hospitales en Chile corresponden a establecimientos de atención cerrada, que otorgan prestaciones de salud en régimen continuado de atención y que deben contar con recursos organizados de infraestructura, equipamiento y personal necesario para su funcionamiento permanente. En el presente, estos se configuran con un área de atención ambulatoria (consultas médicas, salas de procedimientos, unidades de apoyo diagnóstico terapéutico y emergencia), anexada y complementaria a la atención cerrada en donde se encuentran principalmente las hospitalizaciones.

En Chile, los hospitales son de gran relevancia para cubrir las necesidades de atención de salud de la población. No obstante, en materia de infraestructura de salud, el país se encuentra en una situación de déficit, lo cual se evidencia por la falta de camas de hospitalización por número de habitantes. El promedio de camas hospitalarias de los países integrados en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE, era de 5,045 camas por cada mil habitantes en 2013. En el caso de Chile, se llega sólo a 2,18 camas por cada mil habitantes (Goyenechea, 2016). Esto ha generado, en la última década, la elaboración de planes de inversión en infraestructura hospitalaria que logren fortalecer la red asistencial existente. A pesar de los esfuerzos realizados, un diagnóstico llevado a cabo el año 2018 indica que aún el 80% de los hospitales incumplen la norma actual de calidad de infraestructura, debido a la antigüedad de sus construcciones y que el 63% de los recintos cuenta con una edificación anterior a los años 80 (Sandoval y Leiva, 2018).

En temas relativos al ámbito de la sostenibilidad, desde mediados de la década de los 2000 el Ministerio de Salud de Chile ha incorporado criterios de sustentabilidad en los diseños de los establecimientos de salud. Los primeros esfuerzos se enfocaron en la eficiencia energética, estableciendo especificaciones de envolvente (muros y ventanas) con mejor comportamiento térmico, lo que permitió reducir demandas energéticas para el acondicionamiento térmico de los recintos, como

también la incorporación de sistemas activos (sistemas de climatización e iluminación) más eficientes.

En 2017 entra en vigencia la Certificación CES Hospitales, sistema nacional voluntario de certificación de calidad ambiental y eficiencia energética para edificios de uso hospitalario. Su objetivo es evaluar, calificar y certificar la capacidad de un edificio de lograr niveles adecuados de calidad ambiental interior, con el uso eficiente de recursos y baja generación de residuos y emisiones (IC, 2017). El sistema de certificación CES se basa en el cumplimiento de requerimientos obligatorios, la obtención de puntaje, según el cumplimiento de cada requerimiento voluntario que la compone, y una verificación en obra en la etapa final del proceso de evaluación, la cual consiste en la recopilación de algunos antecedentes y, al menos, una visita de inspección efectuada por una Entidad Evaluadora. Actualmente, se fomenta su uso como metodología de trabajo para elegir los criterios sostenibles que deben cumplir los edificios hospitalarios (MINSAL, 2017).

INSPECCIÓN DE LAS OBRAS HOSPITALARIAS

En Chile no existe un procedimiento detallado para la inspección de obras hospitalarias. Si bien se cuenta con un Manual de Inspección Técnica de Obras (MINVU, 2007), su alcance radica en la inspección de viviendas sociales, el que, con el tiempo, se extendió a proyectos de pavimentación y áreas verdes (Moscoso, 2017).

Un estudio sobre observaciones y recomendaciones en la ejecución de contratos de obra pública, que realizó la Contraloría General de la República entre los años 2012 y 2015, concluyó que gran parte de estas observaciones tienen relación directa con la función que cumple la inspección técnica de obras, destacando el incumplimiento de la normativa técnica, el cual representaba un 27% de los casos (Moscoso, 2017). También reveló que el 51% de las observaciones negativas se vinculaban a establecimientos de salud y que este tipo de proyecto no incluía al inspector técnico en etapas tempranas del diseño, por lo que se generaban dos problemas principales: 1) uso deficiente del tiempo, dado que el inspector técnico era contratado o asignado sólo al inicio de la obra, debiendo invertir tiempo en estudiar el proyecto y todos los documentos administrativos que formaban parte de dicha obra; y 2) desaprovechamiento del aporte y la experiencia del inspector técnico de obra en etapas tempranas del proyecto, donde toda modificación tiene un impacto menor en los costos del mismo.

Otro estudio sobre Inspección Técnica de Obras (ITO) indica que hay un número importante de hechos y situaciones que dan origen a conflictos y dudas, no siempre atribuibles a una decisión equivocada del mandante o a la gestión deficiente del Contratista (Corporación de Desarrollo Tecnológico [CDT], 2011). Estos conflictos suelen tener su origen en algunas de las siguientes causas: proyectos que no cuentan con un adecuado nivel de detalle, lo que impide definir, con precisión y objetividad, las exigencias y estándares que deben ser verificados por la ITO; proyectos que no presentan eficiente coordinación entre sí, ni con las especialidades; no se aprecia con claridad los roles y responsabilidades que deben asumir los diferentes profesionales del proceso constructivo en su participación en las distintas etapas de los proyectos; tanto los análisis y las evaluaciones se deben apoyar en antecedentes descoordinados y de escasa confiabilidad; y, las indefiniciones, omisiones y errores que presentan las bases administrativas de los contratos dan origen a un importante número de conflictos en la relación entre las partes.

En base a lo descrito se propone un listado de partidas críticas relevantes a cumplir y verificar en el proceso constructivo (fase de ejecución, etapa de construcción de la Figura 2) de hospitales para asegurar la sustentabilidad en su operación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los principales resultados del estudio, incluyendo la lista y definición de las partidas y actividades críticas relevantes para la construcción de hospitales sustentables, la jerarquía realizada por los profesionales encuestados, junto con recomendaciones para fortalecer la inspección técnica y un proceso simplificado de control y seguimiento con énfasis en la etapa de ejecución, que permita asegurar criterios y variables sustentables durante la operación.

PARTIDAS Y ACTIVIDADES CRÍTICAS RELEVANTES PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DE HOSPITALES PÚBLICOS

Para la elección de las partidas seleccionadas, primero se analizó cada una de las variables CES que tenían una relación con las partidas en obra gruesa o de terminación de un proyecto de construcción (INN, 1999b) y, luego, se seleccionaron las partidas en que la variable CES asociada tenía los mayores puntajes en la certificación. Finalmente, cada partida seleccionada se subdividió en actividades para que el Inspector Técnico de Obra, durante la etapa de construcción, pueda fiscalizar más detalladamente dicha partida. Así, la Tabla 1 muestra la relación variable CES con la partida en obra asociada, la lista de las partidas seleccionadas y actividades que se analizaron en esta investigación.

JERARQUÍA DE PARTIDAS Y ACTIVIDADES CRÍTICAS

Respecto a la consulta sobre "¿cuáles de las partidas es más importante fiscalizar durante la construcción de un hospital

Variable CES	Partidas en obra asociadas	Partidas seleccionadas	Actividades que la componen
Confort visual - pasivo	Envolvente térmica	Envolvente	-verificación del tipo de material y espesor del aislante del: complejo cielo-cubierta, del muro envolvente, de los pisos ventilados -verificación del tipo de cristales y marcos en ventanas - verificación del tipo de material y continuidad de aislación para evitar los puentes térmicos - verificación del tipo de material y ejecución de protecciones solares - verificación del tipos de materiales de la barrera de vapor y de humedad
Demanda de energía	Envolvente térmica		
Hermeticidad de la envolvente	Envolvente térmica		
Confort acústico	Aislación acústica	Aislación acústica	- verificación del tipo de material y espesor de: elementos divisorios horizontales y verticales - verificación de la hermeticidad de uniones y juntas de: los elementos divisorios horizontales y de los verticales -controlar ruido y vibraciones: de los equipos, de los ductos de extracción/inyección de aire, de ascensores y montacargas -verificar la aislación acústica en la red de alcantarillado
Ruido equipos	Aislación acústica		
Calidad del aire - pasivo	Terminaciones interiores	Terminaciones	- verificar los revestimientos interiores verticales, cielos, pavimentos y pinturas y barnices sean los especificados
Confort visual - activo	Instalaciones de iluminación y eléctricas (confort visual)	Instalaciones de iluminación y eléctricas	- verificar que las luminarias sean las especificadas -verificar que los sensores de iluminación e interruptores sean los especificados
Consumo de energía	Instalaciones de iluminación y eléctricas		
Confort térmico - activo	Instalaciones térmicas y ventilación (confort térmico y ventilación)	Instalaciones térmicas y de ventilación	-verificar el tipo, características y funcionamiento del sistema de climatización y agua caliente sanitaria (ACS) -verificación de aislación en la red de distribución de climatización y ACS, -correcta instalación y funcionamiento de termostatos de climatización, del caudal de aire de ventilación, del tipo de filtros en ventilación y/o extracción forzada -verificar ubicación y cantidad de sensores de CO2.
Calidad del aire - activo	Instalaciones térmicas y ventilación		
Consumo de energía	Instalaciones térmicas y ventilación		
Consumo de energía	Sistemas de Energías Renovables No Convencionales	Sistemas de Energías Renovables no Convencionales	-verificar correcta instalación y verificación de funcionamiento de paneles fotovoltaicos o colectores solares térmicos
ERNC	Sistemas de Energías Renovables No Convencionales		
Sistemas de agua potable	Instalaciones sanitarias	Instalaciones sanitarias	-verificar correcta instalación de grifería de lavamanos y lavafondos según EETT -verificar el tiempo de temporizadores de grifería de lavamanos -verificar correcta instalación de inodoros -verificar correcta instalación de grifería de tinas y duchas según EETT -verificar el tipo y características del sistema de tratamiento de dureza del agua

Manejo de residuos	Gestión de los residuos	Gestión de residuos de la operación	-verificar espacio adecuado para asegurar la gestión de residuos.
Riego	Paisajismo	Paisajismo	-verificación de su existencia, y de que sea de bajo consumo hídrico
Paisajismo	Paisajismo		
Energía incorporada	Obra gruesa	Obra gruesa	-verificar que materiales estructurales cuenten con etiqueta ambiental
Agua incorporada	Obra gruesa	Obra gruesa	-verificar que materiales estructurales cuenten con etiqueta ambiental
Diseño integrado de anteproyecto	-	-	-

Tabla 1. Detalle de variables sustentables y su relación con partidas de obras asociadas con las partidas y actividades seleccionadas. Fuente: Elaboración de los autores.

Jerarquización	**E>ITV>T=EnR>IIE>IS>P>AA>R**								
Partidas	E	AA	T	IS	IIE	ITV	EnR	P	R
wi (%)	20	6	13	10	11	17	13	7	5
λmáx	11.47	IC	0.31	IA	1.54	RC	0.20		

Tabla 2. Jerarquización de cada partida a fiscalizar en la etapa de construcción para asegurar que la ocupación/explotación del edificio cumpla con estándares sustentables. Fuente: Elaboración de los autores.

para asegurar que la ocupación/explotación del edificio cumpla con estándares sustentables?", se observa (Tabla 2) una preferencia de un 20% para la Envolvente (E), seguida de Instalaciones Térmicas y de Ventilación (ITV), con un 17%, y de Terminaciones (T) y Sistemas de Energías Renovables no Convencionales (EnR), con un 13%; de ahí que la consistencia fuera un 0.20. Por último, las tres partidas menos votadas fueron Paisajismo (P), Aislación Acústica (AA) y Gestión de Residuos (R), con un 7%, 6% y 5%, respectivamente. Instalaciones Sanitarias (IS) e Instalaciones de Iluminación y Eléctricas (IIE) tuvieron una valoración muy parecida, del 10 y 11%, respectivamente.

Si bien el método AHP se aplicó a todas las partidas, acá se grafican las dos partidas más votadas. Las respuestas referentes a priorización de las actividades a fiscalizar en la envolvente (la partida con mayor prioridad, 20%) se separaron en dos grupos -lo indicado por los arquitectos y lo indicado por ingenieros e ITOs (Figura 3)-, debido a que existe una gran diferencia en las prioridades indicadas por cada grupo, lo que no ocurrió en las votaciones de las otras partidas o actividades. De esta forma, las 3 actividades más votadas por el grupo de ingenieros e ITOs fueron la correcta instalación de: aislante del muro envolvente (26%), barrera de vapor y humedad (16%) y pisos ventilados con aislante de complejo cielo-cubierta (15%). Para el grupo de arquitectos las prioridades fueron: aislación complejo cielo-cubierta (25%), aislante del muro de envolvente (15%) y cristales y marcos de ventanas (14%).

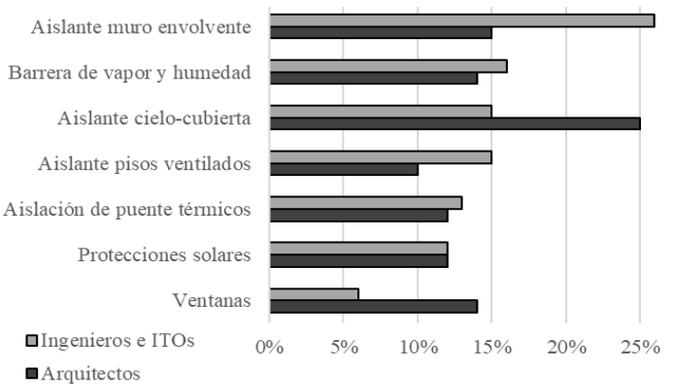

Figura 3. Priorización de los grupos de profesionales a las actividades de la partida envolvente. Fuente: Elaboración de los autores.

En el caso de las actividades que componen la partida de Instalaciones Térmicas y de Ventilación (la segunda más votada, 17%) las 3 actividades más importantes para los profesionales fueron: funcionamiento de climatización y agua caliente sanitaria (ACS) (26%), aislación de la red de climatización y ACS (22%) y correcta instalación de termostatos de climatización (18%). La menos importante a fiscalizar fue: filtros de ventilación y/o extracción forzada, que registró un 8% de las respuestas (Figura 4).

Adicionalmente, se consultaron opiniones respecto a los procesos de inspección técnica de las obras hospitalarias. En cuanto a las dificultades que se presentan en obra para inspeccionar las partidas o actividades previamente

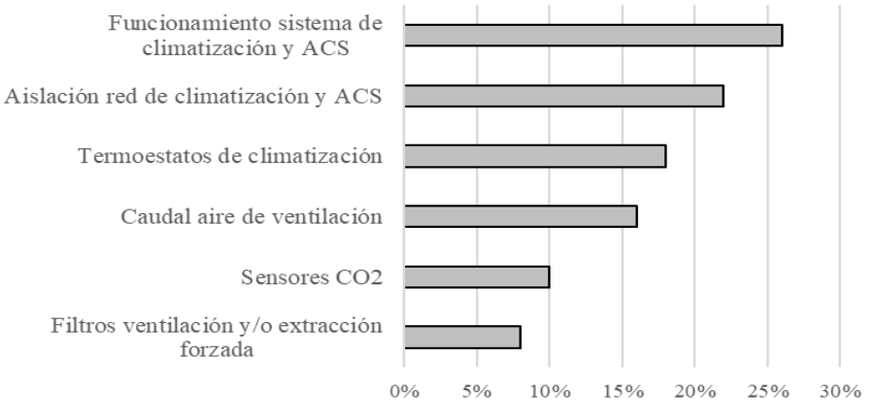

Figura 4. Priorización de los grupos de profesionales a las actividades de la partida Instalaciones Térmicas y de Ventilación. Fuente: Elaboración de autores.

priorizadas, el grupo de expertos indicó que las dos principales dificultades encontradas en obras son la falta de procedimientos (33%) y que no existen cuerpos normativos que entreguen indicaciones (33%). En tercer lugar, se reconoce una falta de conocimiento técnico (19%). Otras dificultades mencionadas tienen relación con la calidad de los proyectos desde el diseño y la falta de autocontrol de las constructoras, partidas con especificaciones técnicas contradictorias y falta de reuniones de coordinación; todas con un 4% de las preferencias.

Respecto a las principales medidas que se podrían implementar en obra para asegurar la correcta ejecución de partidas, se mencionó el crear procedimientos de recepción en obra (46%) y crear un cuerpo normativo que entregue indicaciones (42%). Otras respuestas indican la necesidad de contar con proyectos fiscalizados por ITO, uniformar los antecedentes de los proyectos y contar con apoyo técnico especializado (todas con un 4%).

Ante la consulta de incluir un nuevo profesional especializado que ayude en la fiscalización, el 100% de los encuestados respondió afirmativamente. Y algunos comentarios adicionales del grupo de expertos consultados señalaron tres temas principales que se pueden mejorar en la fiscalización de atributos sustentables en obras hospitalarias, los que se detallan a continuación:

El rol de los profesionales:
- un nuevo profesional especializado no solo debe aparecer al inicio de la obra, sino que debe acompañar, incluso, en el proceso de diseño coordinando a las especialidades e informando al mandante.
- es primordial el desarrollo colaborativo de las especialidades por profesionales competentes para lograr un alto nivel de eficiencia energética y sustentabilidad del edificio
- es necesario asegurar en el diseño la incorporación de los aspectos de eficiencia energética y sustentabilidad en las especialidades.

Procesos de comprobación:
- incorporar mejores herramientas tecnológicas para control del proyecto y especialidades.
- hacer exigibles procesos de comprobación de cumplimiento de lo especificado, o bien, comprobación previa de los estándares especificados.
- normalizar pautas de chequeo, las cuales puedan ser obligatorias en el contrato, con el objetivo de que las pautas no queden al arbitrio del mandante o contratista.
- se deben generar visitas más seguidas del visitador de obra.
- verificar en la puesta en marcha del edificio el rendimiento de los sistemas
- es necesario que la instalación de los distintos sistemas energéticos tenga sus procedimientos de ejecución, explicación teórica y lista de chequeo de aceptación con tolerancias aceptables.
- una vez ejecutada la obra, debe ser certificada y evaluar su cumplimiento mediante mediciones que sean parte del proceso de recepción de la obra.

Contexto normativo:
- falta desarrollo de normativa que entregue indicaciones para los procedimientos de fiscalización para estas partidas críticas de sustentabilidad.
- faltan normas nacionales, especialmente en el área de climatización.
- las normas internacionales no se utilizan, en parte, por la brecha que generan los idiomas.

En base a la jerarquización de partidas y actividades aquí presentada, los comentarios levantados sobre las dificultades que se presentan en obra para fiscalizarlas, las medidas que se podrían implementar en obra para asegurar la correcta ejecución y los tres temas destacados en las preguntas abiertas de los profesionales (rol de los profesionales, procesos de comprobación y contexto normativo), se propone en el siguiente apartado un nuevo proceso de seguimiento y control de las partidas y actividades que permitiría asegurar los estándares sustentables en la fase de ejecución del proyecto (Figura 2), una vez definidos durante la fase de diseño.

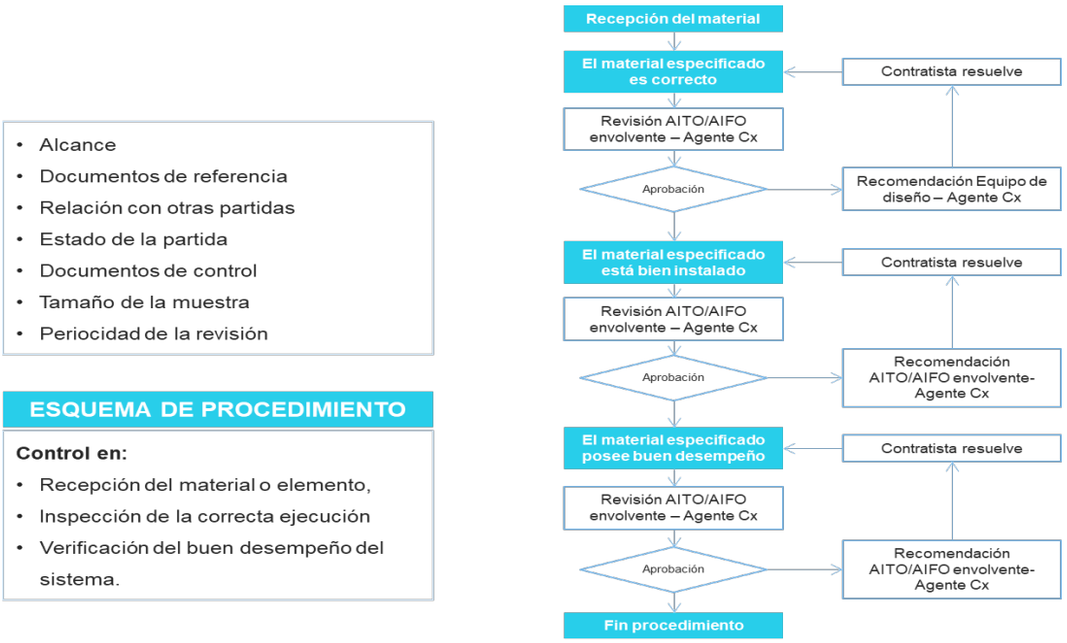

Figura 5. Diagrama de flujo para el seguimiento de la ejecución. Fuente: Elaboración de los autores.

PROPUESTA DE INSPECCIÓN TÉCNICA

La presente propuesta del proceso de control y seguimiento de la inspección técnica fue desarrollada considerando cualquier modalidad de contrato de obras hospitalarias. Se recomienda que en estos contratos la inspección técnica o fiscal comience desde el diseño y, así, facilitar la fiscalización, en la medida en que sea llevada a cabo desde una fase temprana por un mismo equipo especializado.

Esta propuesta de proceso de seguimiento y control reconoce las actuales labores que cumple la Inspección Técnica de Obras (ITO) y la Inspección Fiscal de Obras (IFO), sin embargo, gracias a la retroalimentación derivada de las preguntas abiertas de la encuesta aplicada, es posible atribuir a estas entidades nuevas responsabilidades y mayor participación en más etapas del proyecto. Asimismo, se prevé que los equipos de Asesores (AITO o AIFO) estén compuestos por especialistas con conocimiento específico y capacidad de efectuar tareas de apoyo a la realización del proceso de seguimiento y control de un proyecto de construcción, ya que en la actualidad solo poseen la certificación CES.

Para el desarrollo del mencionado proceso se requiere la figura de un coordinador denominado Agente de Inspección (Agente Cx), presente a lo largo del proyecto desde la fase de pre-diseño hasta la fase de operación y encargado de verificar y documentar que los sistemas e instalaciones hayan sido planificados, diseñados, instalados, probados, operados y mantenidos cumpliendo con los requerimientos de proyecto y tomando como prioridad las partidas y actividades relevadas en la encuesta de priorización.

En la Figura 5 se ilustra el flujo de este nuevo proceso de seguimiento y control del proyecto con énfasis en la fase de ejecución (Figura 2) y en la verificación del desempeño y funcionamiento de las instalaciones y sistemas constructivos. El flujo es esquemático, dado que su especificidad se trabajará en cada una de las partidas y actividades escogidas a partir del análisis multicriterio. Se compone también de un cuadro documental que se debe construir para cada proyecto –o, idealmente, que utilice el MINSAL en todos sus proyectos-, y un esquema de procedimiento que resalta los controles en la ejecución de la partida o actividad. Se termina con el diagrama en el que se detallan los profesionales que deben estar involucrados en el proceso.

CONCLUSIONES

Actualmente, el MINSAL desarrolla un extenso plan de inversiones en infraestructura de salud, planteando un gran desafío para este sector orientado a construir bajo parámetros de sustentabilidad y de mantener adecuadamente estas nuevas infraestructuras durante su operación.

Dependiendo del tipo de contrato para la ejecución de una obra hospitalaria, el flujo de información entre las distintas fases puede verse obstaculizado, debido a que distintos equipos realizan el diseño, la construcción y las fiscalizaciones en cada una de ellas, de forma independiente y sin el seguimiento apropiado. Por la complejidad que caracteriza a los establecimientos de salud, se requiere de procesos de verificación continuos

y en todas las etapas, que aseguren el funcionamiento de los sistemas e instalaciones proyectadas.

Por otra parte, el proceso de levantamiento de información con expertos y, luego, su ponderación a través de la metodología AHP sobre la elección de partidas y actividades críticas para ser inspeccionadas en obras hospitalarias, permitió verificar la relevancia de cada una. Se evidenció que las partidas más relevantes son la Envolvente Térmica (20%) y las Instalaciones Térmicas y Ventilación (17%).

Los resultados de las encuestas dan cuenta de la necesidad de contar con normativas técnicas que entreguen procedimientos y estándares de fiscalización de los sistemas e instalaciones. Es necesario el desarrollo de proyectos coordinados y de mejor calidad desde la fase de diseño. Se reconoce el aporte de un profesional especializado que ayude en la fiscalización, que se incorpore desde fases tempranas del diseño. Además, muchas de las normativas a aplicar en los sistemas e instalaciones son traducciones de normas extranjeras (por falta de las propias nacionales) y su fiscalización posee una barrera idiomática. En este sentido, no basta con una traducción de normas sino, más bien, una institución dedicada a su elaboración aplicada al contexto nacional.

Un proceso de seguimiento y control también permitiría ver las repercusiones que tienen las decisiones tomadas en la obra a partir del diseño, ya sea por lo que se está exigiendo o por lo que ofrece el mercado. La inclusión temprana de un proceso oficial de seguimiento y control dará lugar a un grupo de lecciones aprendidas en las obras hospitalarias de las cuales disponer. La dificultad en su implementación se centraría tanto en la necesidad de formación profesional y calificación de Agentes Cx, como en la de normativas con protocolos y procedimientos específicos para cada partida, de modo similar a lo que hace el crédito de comisionamiento en las certificaciones medioambientales internacionales, incluyendo a las instalaciones y sistemas energéticos. Con base en los sistemas ya existente en Chile, este proceso permitirá, asimismo, ordenar, fiscalizar, asegurar y cumplir los requerimientos de la actual certificación CES Hospitales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló bajo la tesis "Guía de inspección técnica en obra en criterios sostenibles para infraestructura en salud - Propuesta de una metodología para la inspección técnica de obras hospitalarias" del Magíster en Construcción Sustentable de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J. G., Macnaughton, P., Laurent, J. G. C., Flanigan, S. S., Eitland, E. S. y Spengler, J. D. (2015). Green buildings and health. *Current environmental health reports*, *2*(3), 250-258. DOI: https://doi.org/10.1007/s40572-015-0063-y

Balali, A. y Valipour, A. (2021). Prioritization of passive measures for energy optimization designing of sustainable hospitals and health centres. *Journal of Building Engineering*, *35*(2). DOI: https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101992

Carretero-Ayuso, M. J. y García Sanz-Calcedo, J. (2018). Analytical study on design deficiencies in the envelope projects of healthcare buildings in Spain. *Sustainable Cities and Society*, (42), 139–147. DOI: https://doi.org/10.1016/J.SCS.2018.07.004

Castro, M. de F., Mateus, R. y Bragança, L. (2015). A critical analysis of building sustainability assessment methods for healthcare buildings. *Environment, Development and Sustainability*, *17*(6), 1381–1412. DOI: https://doi.org/10.1007/S10668-014-9611-0

Corporación de Desarrollo Tecnológico [CDT] (2011). Inspección Técnica de Obras: una mirada al futuro de la calidad. Santiago de Chile: Ed. Cámara Chilena de la Construcción.

D'amanzo, M., Mercado, M. V. y Ganem Karlen, C. (2020). 10 preguntas de los edificios energía cero: revisión del estado del arte. *Revista Hábitat Sustentable*, *10*(2), 24-41. DOI: http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.02

Darko, A., Chan, A. P. C., Ameyaw, E. E., Owusu, E. K., Pärn, E. y Edwards, D. J. (2019). Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction. *International journal of construction management*, *19*(5), 436-452. DOI: https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452098

Emrouznejad, A. y Marra, M. (2017). The state of the art development of AHP (1979–2017): a literature review with a social network analysis. *International Journal of Production Research*, *55*(22), 6653-6675. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1334976

Golbazi, M. y Aktas, C. B. (2016). Analysis of credits earned by LEED healthcare certified facilities. *Procedia Engineering*, *145*, 203-210. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.062

Goyenechea, M. (2016). Dificultades de la inversión en infraestructura pública de salud en Chile: concesiones y licitación pública. Recuperado de http://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/ Revisiones/Analisis/6444.act?ver=sindiseno.

Instituto de la Construcción [IC] (2017). *Manual Certificación Edificio Sustentable CES-Hospitales. Evaluación y Calificación*. Santiago de Chile: Instituto de la Construcción,

Instituto Nacional de Normalización (1999a). *Norma chilena oficial NCh 1156/1. Of.1999: Construcción - Especificaciones Técnicas - Ordenación y designación de partidas*. Parte 1: Generalidades. Santiago de Chile.

Instituto Nacional de Normalización (1999b). *Norma chilena oficial NCh 1156/3. Of.1999: Construcción - Especificaciones Técnicas - Ordenación y designación de partidas*. Parte 3: Obras de Construcción. Santiago de Chile.

Lord, S. F., Noye, S., Ure, J., Tennant, M. G. y Fisk, D. J. (2016). Comparative review of building commissioning regulation: a quality perspective. *Building Research & Information*, *44*(5-6), 630-643. DOI: https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1181955

Ministerio de Salud (MINSAL) (2017). Orientaciones Técnicas para Diseño de Anteproyectos de Hospitales Complejos. Santiago: Gobierno de Chile, MINSAL Internal document working. Recuperado de https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2018/02/ORIENTACIONES.pdf

Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU]. (2007). *Technical Works Inspection Manual*. Gobierno de Chile. Recuperado de https://www.minvu.cl/wp-content/uploads/2019/05/DS_N_85_Manual_ITO_2007.pdf

Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J. y Terrados-Cepeda, J. (2020). Sustainability and energy efficiency: BIM 6D. study of the BIM methodology applied to hospital buildings. Value of interior lighting and daylight in energy simulation. *Sustainability*, *12*(14), 1–29. DOI: https://doi.org/10.3390/SU12145731

Moscoso, P. (2017). Estudio base para el desarrollo de una metodología de inspección técnica de obras hospitalarias, Santiago, Chile. Tesis de magíster. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Rodriguez, R., Svensson, G. y Wood, G. (2020). Assessing corporate planning of future sustainability initiatives in private healthcare organizations. *Evaluation and Program Planning*, *83*. DOI: https://doi.org/10.1016/J.EVALPROGPLAN.2020.101869

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, *15*(3), 234-281.

Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, *102*(2), 251-318.

Sandoval, G. y Leiva, L. (28 de julio de 2018). La obsolescencia de la red pública hospitalaria. *La Tercera*. Recuperado de https://www.latercera.com/nacional/noticia/la-obsolescencia-la-red-publica-hospitalaria/260412/

Santelices, C., Herrera, R. y Muñoz, F. (2019). Problems in quality management and technical inspection of work. *Revista Ingeniería de Construcción*, *34*(3), 242–251. DOI: https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000300242

Soliman-Junior, J., Tzortzopoulos, P., Baldauf, J. P., Pedo, B., Kagioglou, M., Formoso, C. T. y Humphreys, J. (2021). Automated compliance checking in healthcare building design. *Automation in Construction*, *129*. DOI : https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.103822

Valderrama-Ulloa, C. y Puiggali, J.-R. (2014). Requerimientos de usuarios de la edificación traducidos en una metodología de apoyo a la decisión. *Informes de la Construcción*, *66*(534), 1-11. DOI: http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.106

Vasquez, E., Rola, S., Martins, D., Alves, L., Freitas, M. y Rosa, L. P. (2013). Sustainability in Civil Construction: application of an environmental certification Process (LEED) during the construction phase of a hospital enterprise–Rio de Janeiro/Brazil. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *8*(1), 1-19. DOI : http://dx.doi.org/10.2495/SDP-V8-N1-1-19

Xuan, X. (2015). Effectiveness of indoor environment quality in LEED-certified healthcare settings. *Indoor and Built Environment*, *25*(5), 786-798. DOI: https://doi.org/10.1177/1420326X15587564

CC BY SA

Recibido 31/08/2021
Aceptado 14/12/2021

DISEÑO DE EDIFICIOS DE OFICINAS SUSTENTABLES PARA PROMOVER OCUPANTES SUSTENTABLES

DESIGN OF GREEN OFFICE BUILDINGS TO PROMOTE GREEN OCCUPANTS

FERNANDO CHÁVEZ-FINOL
Arquitecto
Estudiante del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo
Universidad del Bío-Bío
Concepción, Chile
https://orcid.org/0000-0002-4889-9305
fernando.chavez1801@alumnos.ubiobio.cl

MAUREEN TREBILCOCK-KELLY
Doctora en Arquitectura Sustentable
Académica jornada completa del Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío-Bío
Concepción, Chile
https://orcid.org/0000-0002-1984-0259
mtrebilc@ubiobio.cl

MARÍA BEATRIZ PIDERIT-MORENO
Doctora en Arquitectura y Clima
Académica jornada completa del Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío-Bío
Concepción, Chile
https://orcid.org/0000-0001-9733-6608
mpiderit@ubiobio.cl

RESUMEN

Escasos son los trabajos que se enfocan en investigar el potencial de los edificios sustentables de promover sustentabilidad en sus ocupantes. Por ello, el siguiente estudio tiene como objetivo analizar el uso de créditos LEED para fomentar comportamientos pro-ambientales. La metodología utilizada es de carácter exploratoria y de lógica descriptiva, y analiza comparativamente edificios de oficinas certificados LEED [Argentina (n= 351), Chile (n= 494), Colombia (n= 432), Perú (n= 282)] en el período 2012-2020. Los resultados revelaron que los créditos más empleados fueron: "Acceso a Transporte Público" (99,34%), "Densidad del Entorno" (98,34%) y "Pautas de diseño y construcción para inquilinos" (96,53%); y los menos empleados: "Puesta en servicio mejorada" (44,30%), "Luz diurna" (31,31%) y "Controlabilidad de los sistemas" (7,53%). Se concluye, finalmente, que aquellos que optan por incluir al ocupante en el diseño, eligen intervenir en la cultura, mientras que quienes optan por no hacerlo, eligen la tecnología.

Palabras clave
diseño sustentable, edificios de oficinas, sistemas de certificación en la sustentabilidad, comportamiento pro-ambiental.

ABSTRACT

Few studies focus on researching the potential of sustainable buildings to promote the sustainability of their occupants. Therefore, this study aims at analyzing the use of LEED credits, with the intention of promoting pro-environmental behaviors. The methodology is exploratory in nature, with a descriptive logic, and comparatively analyzes LEED-certified office buildings [Argentina (n = 351); Chile (n = 494); Colombia (n = 432); and Peru (n = 282)], between 2012 and 2020. The results revealed that the most used credits were: "Access to Public Transportation", (99.34%); "Surrounding Density"; (98.34%); and, "Tenant construction and design guidelines", (96.53%); and the least used ones were: "Enhanced commissioning", (44.30%); "Daylight" (31.31%); and, "Controllability of systems", (7.53%). It is concluded that those who choose to include the occupant in the design, choose to intervene in the culture, while those who choose not to include them, choose technology.

Keywords
sustainable design, office buildings, green building rating systems, pro-environmental behavior.

Revista Hábitat Sustentable Vol. 11, N°. 2. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 34 - 45
https://doi.org/10.22320/07190700.2021.11.02.03

INTRODUCCIÓN

A principios de los años noventas, una de las propuestas más aceptadas para avanzar en el cumplimiento de los desafíos del desarrollo sustentable fue la creación de sistemas de evaluación, calificación y certificación en la sustentabilidad de los edificios en sus etapas de diseño, construcción, operación y mantenimiento (Chwieduk, 2003; R. Cole, 1999; 2002; Ding, 2008). Estos métodos surgieron con el fin de certificar la sustentabilidad de edificios a través de indicadores consensuados y medibles, que proporcionaron, además, procesos y pautas prácticas para diseñar y evaluar el rendimiento del edificio a través de una lista de verificación fácil de usar (Gou, 2016). Tales sistemas de certificación en la sustentabilidad promueven edificios de bajo impacto ambiental (Chwieduk, 2003; R. Cole, 1999; Ding, 2008), pero la realidad ha demostrado que esto depende en gran medida de los comportamientos de los ocupantes y que se ve frecuentemente desvirtuado por errores en la construcción, ajustes incorrectos de los equipos y la simplificación excesiva en los modelos de simulación (van den Brom, Meijer y Visscher, 2016; Fabi, Andersen y Corgnati, 2011). Varios son los estudios que han analizado la brecha entre los desempeños esperados del edificio y los desempeños reales influidos por factores humanos (D'Oca, Hong y Langevin, 2018; Hong, Yan, D'Oca, y Chen, 2017; Stazi y Naspi, 2018), pero son pocos los estudios que han abordado el efecto del diseño sustentable en la conciencia, actitudes, valores y conocimiento medioambiental, como predictores de comportamientos pro-ambientales de los ocupantes (Mokhtar y Wilkinson, 2015; Deuble y de Dear, 2012; 2009; Kirk, 2010; McCunn y Gifford, 2012; Rashid, Spreckelmeyer y Angrisan, 2012).

Para esta investigación, se define al "Edificio sustentable" como aquel diseñado para ser acreditado con un sistema de certificación en la sustentabilidad, validado por un tercero. El sistema más conocido internacionalmente es LEED, Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (*Leadership in Energy and Environmental Design*), desarrollado en los Estados Unidos en 1998. LEED está elaborado para clasificar todo tipo de edificaciones en base a principios consensuados en materia energética y ambiental, e intenta lograr un equilibrio entre las prácticas conocidas y establecidas con conceptos emergentes. Está organizado principalmente en 5 categorías de evaluación: "Sitios sustentables"; "Eficiencia del agua"; "Energía y atmósfera"; "Materiales y recursos"; y, "Calidad ambiental interior". En cada una de sus categorías, los proyectos deben satisfacer determinados "Prerrequisitos" y ganar puntos o créditos. Los "Prerrequisitos" establecen los requisitos mínimos que todos los edificios deben cumplir para lograr la certificación LEED, y los créditos, los que realmente distinguen al edificio. Además de LEED, existen otros métodos con impacto global, tales como BREEAM, HQE, Passivhaus, etc. (Mattinzioli, Sol-Sánchez, Moreno, Alegre y Martínez, 2020). Cada país ha avanzado en el desarrollo de su propio sistema con el fin de incluir criterios locales, tales como *Green Rating for Integrated Habitat Assessment* (GRIHA), en la India, *Green Building Rating System* (SAGRS), en Arabia Saudita, y la Certificación de Edificio Sustentable (CES), en Chile, entre otros (Ahmed, Abul Hasan y Mallick, 2016). La importancia de estos sistemas para el diseño arquitectónico debería ser un aspecto a destacar, ya que influyen en la forma en que los diseñadores piensan y concretan sus proyectos (Labartino, 2018). Debido a las necesidades y requerimientos de los ocupantes, la mayoría de los sistemas apunta a un balance entre la sustentabilidad ambiental y la sustentabilidad social (Moezzi, 2009). En esa línea, Heerwagen (2000) manifiesta que los beneficios de los edificios sustentables se dan cuando el edificio y sus ocupantes se tratan como un sistema integrado, y Lee (2010) argumenta que los edificios sustentables tienen mejores posibilidades de éxito si a los ocupantes se les instruye en la motivación sustentable y en los principios de la organización detrás de la implementación del sistema de certificación en la sustentabilidad. Diversos son los estudios comparativos entre edificios sustentables y convencionales que buscan conocer el potencial de los primeros de promover sustentabilidad en los ocupantes. Khashe et al. (2015) concluyeron que el conocimiento de los ocupantes del edificio sobre los problemas medioambientales podría mejorar sus comportamientos en pro del ambiente. El trabajo de Steinberg, Patchan, Schunn y Landis., (2009) advirtió que un grupo de ocupantes que iba a ser trasladado a un edificio sustentable declaró mayor disposición a cambiar sus comportamientos, que aquellos ocupantes que iban a mantenerse en el edificio convencional. Mokhtar, Wilkinson y Fassman (2015), por su parte, patentizaron que los ocupantes de los edificios sustentables adoptaban más cambios en sus comportamientos que los ocupantes de los edificios convencionales, debido a las estrategias de intervención implementadas por la organización en los edificios sustentables. Hill et al. (2019) exploraron otros factores en los ocupantes, como el de la conciencia medioambiental, las percepciones y la facilidad o dificultad percibida de los comportamientos, para concluir que estar en un edificio sustentable influye en los ocupantes en términos de mostrar un comportamiento pro-ambiental. Y Tezel y Giritli (2019) hallaron que el valor, la creencia y la conciencia medioambiental eran, estadísticamente, predictores del comportamiento pro-ambiental en el lugar de trabajo, y que los ocupantes de oficinas sustentables mostraban una mayor conciencia sobre las características sustentables de los edificios. Ahora bien, a pesar de constatar una mayor conciencia, los ocupantes de oficinas sustentables revelaron menos evidencia de comportamientos pro-ambientales en comparación con los que trabajaban en edificios de oficinas no sustentables, a partir de lo cual se visibilizó la necesidad de mayores esfuerzos en la formación sobre cuestiones de sustentabilidad en la sociedad.

En contraposición, otros estudios han demostrado que los edificios sustentables no promueven, en general, comportamientos pro-ambientales en los ocupantes, en comparación con edificios convencionales o no sustentables. Por ejemplo, Hostetler y Noiseux (2010) concluyeron que

los nuevos residentes no demuestran el conocimiento, las actitudes y los comportamientos pro-ambientales para hacer que las comunidades sustentables funcionen con los objetivos de sustentabilidad proyectadas en el diseño. De acuerdo con McCunn y Gifford (2012), ni el compromiso ni las actitudes medioambientales se correlacionan con los atributos sustentables de los edificios. Según Rashid et al. (2012), no existe evidencia de efectos directos de los atributos arquitectónicos de un edificio sustentable en la conciencia medioambiental y la imagen organizacional de los ocupantes. En ese sentido, hay investigaciones que profundizan en algunas razones; una de ellas mostró que cuando la opción de reciclaje estaba disponible, las personas aumentaban el uso de productos que eran gratuitos (papel de oficina, toallas de papel de baño, etc.), creando efectos adversos en la sustentabilidad (Catlin y Wang, 2013). Este tipo de comportamiento podría explicarse por el hecho de que un edificio sustentable puede ser considerado una especie de compensación para aliviar las emociones negativas, como la culpa asociada con el comportamiento derrochador (Bamberg y Möser, 2007).

La sustentabilidad de un edificio también puede parecer una rectificación, que desmejora las percepciones de riesgo de los ocupantes y aumenta sus intenciones de usar más energía (Bolton, Cohen y Bloom, 2006). En otras palabras, ocupar un edificio sustentable podría considerarse una compensación para los ocupantes y otorgarles una licencia para un comportamiento menos ambiental, ya que pueden percibir y tener la sensación de que las estrategias de la sustentabilidad presentes en el edificio compensan su comportamiento poco amigable con el medioambiente. Bajo esta premisa, ciertos autores proponen la noción de "Diseño robusto" *(Robust design)* (Buso, Fabi, Andersen y Corgnati, 2015; Karjalainen, 2016; O'brien, 2013; Palme, Isalgue, Coch-Roura, Serra y Coch, 2006), fundamentada en que "los ocupantes no comprenden los principios de funcionamiento de los edificios y que utilizan los sistemas de forma no óptima o, incluso, inapropiada desde el punto de vista energético" (Karjalainen, 2016, p. 1.257).

La expresión "Ocupante sustentable" (OS) aparece por primera vez en el trabajo de Browne y Frame (1999), en donde concluyen que "edificios sustentables necesitan ocupantes sustentables" (*green buildings need green occupants*), partiendo de la base de que la tecnología por sí misma no es suficiente para lograr los objetivos de sustentabilidad propuestos en el diseño de los edificios, y que se debería incluir al ocupante en el proceso. Luego, dicha concepción fue tomada en cuenta en otras investigaciones (Deuble, 2007; Deuble y de Dear, 2012; 2009; Wu, 2016; Wu, Green, Chen, Tang y Yang, 2015; Wu, Greaves, Chen y Grady, 2017; Wu, Kim, *et al.*, 2017). Deuble (2007) profundizó en la noción de OS para terminar definiendo a este ocupante como aquel que entiende las estrategias sustentables presentes en el edificio y que, a su vez, posee alto nivel de conciencia medioambiental; aspectos medibles con la "Escala del Nuevo Paradigma Ecológico" (NEP-R) (Dunlap, Van Liere, Mertig y Jones, 2000; Dunlap y Van Liere, 1978). Sin embargo, algunos autores descubren ocupantes "grises" en edificios sustentables debido al "Efecto rebote" *(Rebound effect)* (Catlin y Wang, 2013; Frondel, 2004; Sorrell, 2007). En esa misma lógica, se podría argumentar que ocupantes con altos niveles de conciencia medioambiental de edificios no sustentables, podrían compensar la ausencia de estrategias sustentables en el edificio y comportarse, por ello, en pro del medioambiente. A partir de este marco, aquí se concebirá al OS como al ocupante con comportamientos pro-ambientales (CPA) en el edificio y, paralelamente, al "comportamiento pro-ambiental", como uno "que conscientemente busca minimizar el impacto negativo de las acciones de uno en el mundo natural y construido (por ejemplo, minimizar el consumo de recursos y energía, el uso de sustancias no tóxicas, reducir la producción de desechos)" (Kollmuss y Agyeman, 2002, p. 240).

Otros trabajos se abocan al uso del edificio sustentable como promotor de la sustentabilidad, a través del concepto "Edificio Verde Educador" *(Teaching Green Building)* (L. Cole, 2014; 2018; L. Cole y Hamilton, 2019), el cual ejemplifican con el caso del sistema de certificación LEED que ofrece un crédito para los proyectistas que emplean al edificio certificado de la escuela *(green school building)* como herramienta de enseñanza (L. Cole, 2013). Asimismo, se ha estudiado la "comunicación de la sustentabilidad" por medio de los atributos arquitectónicos presentes en el edificio (Cranz, Lindsay, Morhayim y Lin, 2014; Wu, 2016; Wu et al., 2015; Wu, Greaves, et al., 2017; Wu, Kim, et al., 2017), para concluir que se debe continuar promoviendo el uso de la señalización educativa en el diseño de edificios sustentables –medida que resultó ser, en uno de los casos (Wu, Kim *et al.*, 2017), el comunicador más eficaz de la sustentabilidad-, como también alentar más análisis sobre el uso innovador del diseño de edificios sustentables, como comunicadores eficaces para promover educación sobre la sustentabilidad entre ocupantes de edificios.

Conforme a lo descrito, no es suficiente lo que se ha investigado en la relación del diseño de edificios sustentables y su efecto en el fomento de la sustentabilidad en los ocupantes. Por lo tanto, el objetivo general de este trabajo es explorar la relación del edificio sustentable con el ocupante, a través del análisis, identificación y clasificación de los criterios asociados, con la intención de promover CPA en dichos ocupantes, mediante un sistema de certificación en la sustentabilidad, en base a un modelo teórico –lo que corresponde al objetivo específico 1 (OE1). Consiguientemente, se lleva a cabo un análisis comparativo en edificios de oficinas certificados LEED en Argentina, Chile, Colombia y Perú, entre los años 2012 y 2020 –lo que corresponde al objetivo específico 2 (OE2).

METODOLOGÍA

La investigación aquí expuesta tiene un carácter exploratorio (Hernández Sampieri, Fernández y del Pilar, 2010), pues significa uno de los pocos acercamientos al fenómeno de

las estrategias de diseño en un edificio sustentable para promover sustentabilidad (concretamente en CPA) en los ocupantes. Las estrategias de diseño son representadas en los requerimientos (créditos) LEED. El método de selección de los casos es no probablístico y los tipos de muestras (sistemas y países), de tipo "guiadas por uno o varios propósitos" (Hernández Sampieri et al., 2010, p. 396). Como este estudio forma parte de una tesis de doctorado en curso en Chile, el criterio de selección del sistema de certificación es el de mayor número de proyectos registrados en el país; la misma lógica se aplica para la selección de la versión del sistema como de la función de los edificios certificados. Con respecto a la selección de los países, se elegirán aquellos con un número similar y abordable de proyectos registrados en Chile, bajo el argumento de "capacidad operativa de recolección" (Hernández Sampieri et al., 2010, p. 402). Como método de validación del análisis, identificación y clasificación de los créditos del sistema de certificación para generar CPA en los ocupantes, se acudió a la evaluación de juicio de expertos (Garrote y Rojas, 2015). En cuanto al uso de los créditos en los edificios certificados en los países, se efectuó un análisis comparativo, a través de la descripción de los promedios de los créditos LEED obtenidos en cada caso/país y de la descrpción de la desviación estándar de los créditos LEED obtenidos en cada caso/país.

Como soporte teórico, a fin de analizar, identificar y clasificar los créditos LEED con potencial de promover CPA en los ocupantes, se correspondieron los créditos LEED con la variable "Posibilidades de actuar pro-ambientalmente", del "Modelo de comportamiento ecológico" (Fietkau y Kessel [1981] cit. en Kollmuss y Agyeman, 2002), en donde la variable es definida como factores externos (infraestructura o económicos) que permiten o dificultan que las personas actúen pro-ambientalmente. Las otras variables del modelo teórico son: "Actitud y valores"; "Incentivos de comportamiento"; "Retroalimentación percibida sobre el comportamiento pro-ambiental"; y, "Conocimiento", —una variable que no influye directamente en el comportamiento, sino que actúa como un modificador de actitudes y de valores—.

La literatura especializada ha identificado la relación entre los factores socio-psicológicos y los CPA mediante la conceptualización teórica o los estudios de casos empíricos, como la teoría del comportamiento planificado (Ajzen, 1991; Harland, Staats y Wilke, 1999), el modelo de activación de normas (NAM) (Lindenberg y Steg, 2007), la teoría del valor-creencia-norma (VBN: *value-belief-norm* (Stern, 2000), el nuevo paradigma ambiental (o ecológico) (Dunlap et al., 2000; Dunlap y Van Liere, 1978) y la teoría del apego al lugar (Ramkissoon, Weiler y Smith, 2012). Bamberg y Möser (2007) exponen, en este sentido, que el comportamiento pro-ambiental probablemente se ve mejor como una mezcla de interés propio (por ejemplo, para seguir una estrategia que minimice el propio riesgo para la salud) y de interés hacia otras personas, la próxima generación, otras especies o ecosistemas completos (por ejemplo, previniendo la contaminación del aire que puede causar riesgos para la salud de otros y / o el clima global). Esa combinación de intereses propios y motivos pro-sociales es evidenciada en la formulación del "Modelo de comportamiento ecológico", criterio complementario para la selección del modelo.

En la Figura 1 se grafica el esquema metodológico de la investigación.

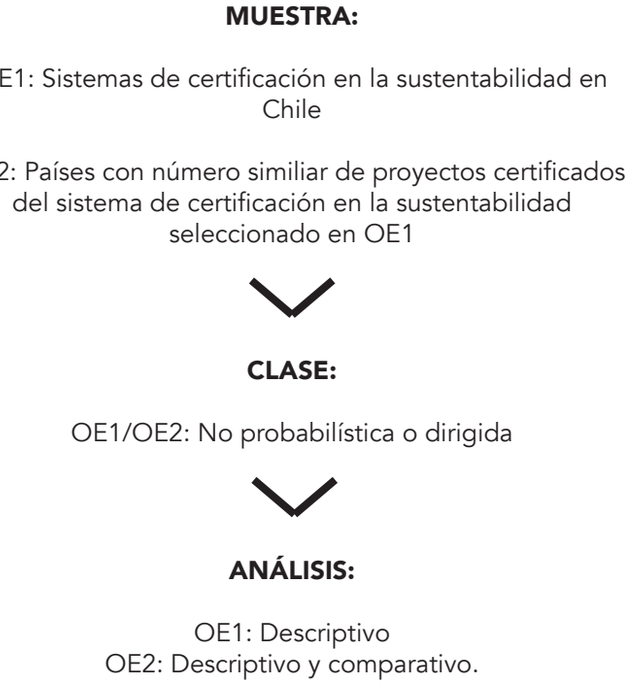

Figura 1. Esquema metodológico. Fuente: Elaboración de los autores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS

El sistema de certificación con mayor número de proyectos registrados en Chile es LEED, con 494 proyectos inscritos (Chile GBC, 2020); los otros sistemas de certificación en el país son: EDGE, *Excellence In Design For Greater Efficiencies* (Excelencia en el diseño para una mayor eficiencia), WELL, del *International WELL Building Institute*, y el sistema nacional de Chile, CES, Certificación Edificio Sustentable. Los países con un número similar de proyectos registrados en Chile, en el sistema de certificación LEED, son: Argentina (n= 351), Colombia (n= 432) y Perú (n= 282) (Chile GBC, 2020). Esta información, como la del resto de Latinoamérica, se puede apreciar en la Tabla 1.

País	Inscritos
Brasil	1589
México	1217
Chile	494
Colombia	432
Argentina	351
Perú	282
Costa Rica	228
Guatemala	91
Ecuador	40
Uruguay	36
Paraguay	14
Bolivia	6

Tabla 1. Proyectos registrados LEED en países de Latinoamérica hasta diciembre 2020. Fuente: Elaboración de los autores, con base en Chile GBC (2020).

	Argentina	Chile	Colombia	Perú
Edificio de Oficinas	84 (100,00)	121 (100)	89 (100)	65 (100)
LEED-CS 1.0 Pilot	0 (0,00)	1 (0,83)	0 (0,00)	0 (0,00)
LEED-CS 2.0	3 (3,57)	8 (6,61)	1 (1,12)	0 (0,00)
LEED-CI 2.0	0 (0,00)	0 (0,00)	2 (2,25)	1 (1,54)
LEED-NC 2.2	0 (0,00)	2 (1,65)	3 (3,37)	0 (0,00)
LEED-CS v2009	24 (28,57)	69 (57,02)	50 (56,18)	38 (58,46)
LEED-NC v2009	24 (28,57)	23 (19,01)	12 (13,48)	3 (4,62)
LEED-CI v2009	15 (17,86)	15 (12,40)	11 (12,36)	7 (10,77)
LEED-EB:OM v2009	13 (15,48)	1 (0,83)	2 (2,25)	7 (10,77)
LEED v4 O+M: EB	0 (0,00)	1 (0,83)	0 (0,00)	0 (0,00)
LEED v4 BD+C: NC	1 (1,19)	0 (0,00)	1 (1,12)	0 (0,00)
LEED v4 ID+C: CI	4 (4,76)	1 (0,83)	6 (6,74)	9 (13,85)
LEED v4.1 O+M: Interiors	0 (0,00)	0 (0,00)	1 (1,12)	0 (0,00)

Tabla 3. Diferentes versiones LEED de "Edificios de Oficinas". Fuente: Elaboración de los autores. (Las cifras entre paréntesis representan el porcentaje [%]).

	Argentina	Chile	Colombia	Perú
TOTAL Registrados LEED	348 (100,00)	490 (100,00)	428 (100,00)	281 (100,00)
NO Certificados + Confidenciales	206 (59,20)	256 (52,24)	270 (63,08)	184 (65,48)
TP: NO Oficina	58 (16,67)	113 (23,06)	69 (16,12)	32 (11,39)
TP: Oficinas	84 (24,14)	121 (24,69)	89 (20,79)	65 (23,13)

Tabla 2. Proyectos registrados LEED en Argentina, Chile, Colombia y Perú, clasificados en: "NO Certificados", "Confidenciales" y "Tipo de proyecto (TP)". Fuente: Elaboración de los autores. (Las cifras entre paréntesis representan el porcentaje [%]).

Se usó el archivo público de la página del U.S. Green Building Council (https://www.usgbc.org/), para filtrar la información y obtener los proyectos certificados. En la Tabla 2 se muestra un resumen de la clasificación realizada de la información por proyectos registrados, filtrados según el contenido: "NO Certificados + Confidenciales", proyectos, a la fecha, registrados como confidenciales y no certificados; "NO Oficina", proyectos certificados y registrados con función/tipo diferentes a *Oficinas (Office)*; y, "Oficinas", proyectos certificados y registrados con función/tipo *Oficinas (Office)*, en el archivo base, en la columna *ProjectTypes* (Tipo de proyecto).

La versión con mayor número de proyectos registrados fue la versión LEED-CS v2009 "Core and Shell" (v3), por ser la más usada en la base de datos entre el período 2012 – 2020, como expresa la Tabla 3.

Una vez seleccionada la versión con mayor número de proyectos registrados, se clasificaron los créditos en tres grupos: "Directos", "Indirectos" y "Otros". "Directos", porque en la descripción del "Propósito" *(Intent)* en el manual, se establece directamente la intencionalidad de promover CPA en los ocupantes, como ocurre, por ejemplo, en los créditos de transporte alternativo: SSc4.1; SSc4.2; SSc4.3; SSc4.4: "Reducir la contaminación y los impactos del desarrollo de la tierra por el uso del automóvil" *(To reduce pollution and land development impacts from automobile use)*. "Indirectos", porque en la descripción del "Propósito" *(Intent)* no se establece directamente las intencionalidad de promover CPA en los ocupantes, sino en otro lugar de las descripciones del crédito, como en actividades que se solicitan para obtener los puntajes, como por ejemplo, la de elaborar encuestas a los ocupantes, en el caso del crédito "IEQc3: Puesta en servicio mejorada" *(Enhanced Commissioning)*, o en el del crédito "SSc9: Pautas de diseño y construcción para inquilinos" *(Tenant design and construction guidelines)*, en donde se solicita redactar un manual de instrucciones de las estrategias

Categoría Ambiental LEED	Código LEED	Identificación LEED	Prerrequisito	Categoría Crédito – LEED / Estudio (*)		
				Directo (*)	Indirecto (*)	Otro (*)
Materiales y Recursos *(Materials and Resources)*	MRp1	Almacenamiento y recolección de reciclables	✓			
Parcelas Sustentables *(Sustainable Sites)*	SSc2	Densidad del Entorno y Usos Diversos		✓		
	SSc4.1	Transporte alternativo: acceso al transporte público		✓		
	SSc4.2	Transporte alternativo: almacenamiento de bicicletas y vestuario		✓		
	SSc4.3	Transporte alternativo: vehículos de bajas emisiones y de bajo consumo de combustible		✓		
	SSc4.4	Huella de aparcamiento reducida		✓		
	SSc5.2	Desarrollo del sitio: maximice el espacio abierto			✓	
	SSc9	Pautas de diseño y construcción para inquilinos			✓	
Energía y Atmósfera *(Energy and Atmosphere)*	EAc3	Puesta en servicio mejorada			✓	
Calidad Ambiental Interior *(Indoor Environmental Quality)*	IEQc6	Controlabilidad de los sistemas - Confort térmico			✓	
	IEQc8.1	Luz diurna y vistas - Luz diurna			✓	
	IEQc8.2	Luz diurna y vistas - Vistas			✓	
Innovación en el Diseño *(Innovation in Design)*	IDc1	Innovación en Diseño				✓

Tabla 4. Créditos LEED con potencial de promover CPA en el ocupante. Fuente: Elaboración de los autores.
(*) Nota. Estos créditos pertenecen a una categoría distinta de los "Prerrequisitos" determinados por LEED, los cuales establecen los requisitos mínimos que todos los edificios deben cumplir para lograr la certificación LEED. Los primeros, en cambio, se definen como "los que realmente distinguen (al) edificio del resto" (USGBC, 2016).

sustentables presentes en el edificio, para instruir a futuros inquilinos y ocupantes sobre las estrategias sustentables del edificio. La categoría "Otros" se vio justificada por la revisión de la literatura y la validación de expertos, que apuntan a los créditos de innovación en el diseño, como oportunidades adicionales para promover sustentabilidad en los ocupantes.

A continuación, en la Tabla 4, se presentan los créditos LEED con potencial de promover CPA en el ocupante, según el Manual LEED-CS v2009 "Core and Shell" (v3), en su versión en inglés (USGBC, 2016), y traducidos para este trabajo al castellano.

Para obtener la información del uso de los créditos LEED-CS v2009 "Core and Shell" en edificios de oficina de Argentina (AR), Chile (CL), Colombia (CO) y Perú (PE), con potencial de promover CPA, se vació la información de los puntajes de cada proyecto *(Scorecards)*. La Tabla 5 ilustra el porcentaje del uso de cada crédito con potencial de promover CPA en los ocupantes en los cuatro países, como también el promedio de uso de cada crédito por países, para poder jerarquizarlos, y la desviación estándar de cada crédito, para compararlos.

Los créditos que obtuvieron los tres primeros lugares en el uso, según el promedio, fueron:

1) "SSc4.1: Acceso a Transporte Público de Calidad", con 99,34%;

Categoría Ambiental LEED	Código Crédito LEED	PAÍS (%)				Promedio (%)	Desviación estándar
		AR	CL	CO	PE		
Parcelas Sustentables (Sustainable Sites)	SSc2	100,00	100,00	96,00	97,37	98,34	1,99
	SSc4.1	100,00	100,00	100,00	97,37	99,34	1,32
	SSc4.2	100,00	86,96	88,00	92,11	91,77	5,92
	SSc4.3	83,33	88,41	92,00	94,74	89,62	4,93
	SSc4.4	75,00	56,52	40,00	39,47	52,75	16,81
	SSc5.2	66,67	68,12	88,00	47,37	67,54	16,60
	SSc9	100,00	100,00	94,00	92,11	96,53	4,08
Energía y Atmósfera (Energy and Atmosphere)	EAc3	91,67	14,49	50,00	21,05	44,30	35,15
Calidad Ambiental Interior (Indoor Environmental Quality)	IEQc6	4,17	8,70	12,00	5,26	7,53	3,55
	IEQc8.1	8,33	59,42	18,00	39,47	31,31	22,82
	IEQc8.2	58,33	79,71	70,00	71,05	69,77	8,78

Tabla 5. Resultado del análisis. Fuente: Elaboración de los autores.

2) "SSc2: Densidad del Entorno y Usos Diversos", con 98,34%; y,
3) "SSc9: Pautas de diseño y construcción para inquilinos", con 96,53%.

En los tres últimos lugares se ubicaron:

9) "EAc3: Puesta en servicio mejorada", con 44,30%;
10) "IEQc8.1: Luz diurna y vistas – Luz diurna", con 31,31%; y,
11) "IEQc6: Controlabilidad de los sistemas", con 7,53%.

Con respecto al resultado del cálculo de la desviación estándar, los dos valores mayores se dieron en los siguientes créditos LEED:

- "IEQc8.1: Luz diurna y vistas - Luz diurna", con una desviación de 22,82 puntos. Argentina registró el menor promedio del uso de ese crédito (8,33%) y Chile, el mayor (59,43%).

- "EAc3: Puesta en servicio mejorada" con una desviación de 35,15 puntos. Chile registró aquí el menor promedio del uso de ese crédito (14,49%) y Argentina, el mayor (91,67%).

DISCUSIÓN

Los dos primeros créditos LEED en el uso de edificios de oficinas sustentables en Argentina, Chile, Colombia y Perú, entre los años 2012 y 2020, con potencial para promover CPA en ocupantes fueron "SSc4.1: Acceso a Transporte Público de Calidad" (99,34%) y "SSc2: Densidad del Entorno y Usos Diversos" (98,34%). Ambos buscan promover la reducción en el uso del vehículo, una solución de comportamiento pro-ambiental a escala urbana, de ciudad. El tercer lugar corresponde al crédito LEED, "SSc9: Pautas de diseño y construcción para inquilinos" (96,53%), el cual tiene el propósito de educar a los inquilinos sobre la implementación de características de diseño y construcción sustentables en el edificio. Estas pautas de diseño y construcción persiguen apoyar a los inquilinos a diseñar y construir interiores sustentables y, además, a adoptar prácticas de construcción sustentables, las que optan por incluir al ocupante en el diseño de edificios sustentables, al referir a factores conductuales y culturales, cruciales para la sustentabilidad, y al promocionar el nivel de conciencia de todas las partes interesadas *(Stakeholders)* (clientes, diseñadores, contratistas, inquilinos y ocupantes) sobre conceptos de desarrollo sustentable y edificios sustentables (Zuo y Zhao, 2014). Este crédito da cuenta también de los nuevos retos de incluir al ocupante en la solución en el diseño de edificios sustentables, ya que, según Hoffman y Henn (2008), los nuevos obstáculos "ya no son principalmente tecnológicos y económicos. En cambio, son sociales y psicológicos" (p. 391). De la misma manera, se podría pronosticar un cambio en el paradigma de sistemas de certificación centrados en el ocupante, en concreto, de los sistemas IWBI WELL, Fitwel y Living Building Challenge (California Polytechnic State University, 2020). Adicionalmente, esta tendencia podría derivar del interés de los estudios que identifican créditos involucrados en diversas categorías de evaluación o dimensiones orientados a los ocupantes (Gou, 2019; Gou, Prasad y Siu-Yu Lau, 2013; Illankoon, Tam, Le y Shen, 2017), o bien, como sugieren Wen *et al.*, (2020), del aumento considerable que, en las últimas tres décadas, está adquiriendo el peso de la categoría social en los sistemas analizados. Junto a ello,

se ha advertido un pequeño incremento en el peso de la categoría económica y una disminución continua en el de la categoría ambiental. Cabe agregar, siguiendo a Xue, Lau, Gou, Song y Jiang, (2019), que el diseño de edificios con sistemas de certificación debería pasar del enfoque de ingeniería centrado en la construcción, a un enfoque biofílico centrado en el ser humano.

El crédito LEED menos empleado en los cuatro países resultó ser el "IEQc6: Controlabilidad de los sistemas" (7,53%). Dicha cifra puede asociarse con la intención de no incluir al ocupante en el diseño arquitectónico para cumplir con los objetivos de la sustentabilidad en el edificio, al minimizarse el impacto de la interacción del ocupante con el edificio a través del control personal. Dos son los términos ligados a esta tendencia, el *"Rebound effect"* (Efecto rebote) (Frondel, 2004; Grossmann, Galvin, Weiss, Madlener y Hirschl, 2016; Sorrell, 2007) y el *"Robust design"* (Diseño robusto) (Buso et al., 2015; Karjalainen, 2016; O'brien, 2013; Palme et al., 2006). Investigaciones vinculadas a la interacción del ocupante con el edificio a través del control personal y otros tópicos, como el confort térmico en el efecto en el ahorro de la energía (Nagy, Yong, Frei y Schlueter, 2015; Wagner, Gossauer, Moosmann, Gropp y Leonhart, 2007) y en la productividad en entornos laborales (Leaman y Bordass, 2001), constataron que la relación de un mayor control individual directo, conduce a un mayor confort térmico (De Dear y Brager, 2002; Karjalainen y Koistinen, 2007) y a una mayor satisfacción (Brager y Baker, 2009; Fountain, Brager y de Dear, 1996). Desde un punto de vista psicológico, otros estudios observaron que el control personal es un factor importante para aumentar la satisfacción y la productividad del ocupante (Samani, 2015; Vine, Lee, Clear, DiBartolomeo y Selkowitz, 1998).

Con respecto a las cifras arrojadas tras el cálculo de la desviación estándar -35,15 del crédito LEED "EAc3: Puesta en servicio mejorada" y 22,82 de "IEQc8.1: Luz diurna y vistas - Luz diurna"- las cuales dieron evidencia de la dispersión de los valores entre los casos de Argentina y Chile, se puede indicar que conocer las posibles causas de ello representa una valiosa oportunidad de investigación. Desde esa perspectiva, como trabajos futuros, se prevé analizar los casos de Brasil y México, por ser los países con mayor cantidad de edificios certificados LEED de la región, pero asimismo el sistema local de Chile, CES. La metodología propuesta puede replicarse en ambos estudios, y los resultados pueden, por lo tanto, compararse.

CONCLUSIÓN

En la relación del edificio sustentable y el ocupante, en el marco del diseño de edificios de oficinas que procuran lograr objetivos de sustentabilidad, los créditos más empleados en los países seleccionados optan por incluir al ocupante en el uso y la promoción de transportes alternativos, lo cual contribuye a reducir el impacto en el ambiente a nivel urbano; una solución que apoyarían los tres grupos propuestos en Hopwood, Mellor y O'Brien (2005) para enfrentar los desafíos del desarrollo sustentable. Otra alternativa para incorporar al ocupante en el diseño, referida en el crédito LEED que busca instruir al ocupante en las estrategias sustentables presentes en el edificio, también interviene en la sociedad, pero a través de la cultura; término que se asocia con la acción de cultivar o practicar algo. Y una última solución, que busca restringir la interacción del ocupante en el edificio, con el objetivo de lograr una eficiencia en el uso de la energía (como medida de sustentabilidad), aporta a la sociedad, esta vez, mediante la tecnología, es decir, de la aplicación de la ciencia a la resolución de problemas concretos.

Finalmente, hay que señalar que identificar criterios, a través de los créditos en un sistema de certificación para promover sustentabilidad en los ocupantes —en los CPA—, va en sintonía con el surgmiento de nuevos sistemas de certificación enfocados en la sustentabilidad social, hacia el ocupante, en vez de hacerlo hacia la sustentabilidad ambiental, la eficiencia energética y el uso de las tecnologías en los edificios. Por ello, precisamente, es que el presente trabajo representa un aporte en el fenómeno de la relación de los edificios sustentables y el ocupante.

AGRADECIMIENTOS

La tesis de doctorado, en la cual se basa este artículo, fue posible gracias a la Beca DAU (Doctorado en Arquitectura y Urbanismo) – Dirección de Postgrados UBB (Universidad del Bío-Bío) y al proyecto Fondecyt Regular No 1201456 "Criterios innovadores de bienestar para el diseño y evaluación de edificios sustentables desde la perspectiva de los ocupantes".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, M., Abul Hasan, M. y Mallick, J. (2016). World Green Building Rating Systems: A Comparative Study. En *International Conference Cum Exhibition On Building Utilities 2016*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/323771840

Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *50*(2), 179–211. DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

Bamberg, S. y Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, *27*(1), 14–25. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2006.12.002

Bolton, L. E., Cohen, J. B. y Bloom, P. N. (2006). Does Marketing Products as Remedies Create "Get Out of Jail Free Cards"? *Journal of Consumer Research*, *33*(1), 71–81. https://doi.org/10.1086/504137

Brager, G. y Baker, L. (2009). Occupant satisfaction in mixed-mode buildings. *Building Research and Information*, *37*(4), 369–380. DOI: https://doi.org/10.1080/09613210902899785

Browne y Frame, I. (1999). Green buildings need green occupants. *Eco-Management and Auditing*, *6*(2), 80–85. DOI: https://doi.org/10.1002/(sici)1099-0925(199906)6:2<80::aid-ema102>3.0.co;2-#

Buso, T., Fabi, V., Andersen, R. K. y Corgnati, S. (2015). Occupant behaviour and robustness of building design. *Building and Environment*, *94*, 694–703. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.003

Catlin, J. R. y Wang, Y. (2013). Recycling gone bad: When the option to recycle increases resource consumption. *Journal of Consumer Psychology*, *23*(1), 122–127. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcps.2012.04.001

Chile GBC (2020). *Reporte Construccion Sustentable Chile GBC - Diciembre 2020*. Recuperado de www.chilegbc.cl

Chwieduk, D. (2003). Towards sustainable-energy buildings. *Applied Energy*, *76*(1–3), 211–217. DOI: https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00059-X

Cole, L. B. (2013). The Green Building as a Medium for Environmental Education. *Michigan Journal of Sustainability*, *1*. DOI: https://doi.org/10.3998/mjs.12333712.0001.012

Cole, L. B. (2014). The Teaching Green School Building: a framework for linking architecture and environmental education. *Environmental Education Research*, *20*(6), 836–857. DOI: https://doi.org/10.1080/13504622.2013.833586

Cole, L. B. (2018). The Teaching Green Building: Five Theoretical Perspectives. En W. Leal Filho, R. W. Marans y J. Callewaert (Eds.), *Handbook of Sustainability and Social Science Research* (pp. 107–125). Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67122-2_6

Cole, L. B. y Hamilton, E. M. (2019). Can a green school building teach? A pre- and post-occupancy evaluation of a teaching green school building. *Environment and Behavior*, *52*(10), 1047-1078. DOI: https://doi.org/10.1177/0013916518825283

Cole, R. J. (1999). Building environmental assessment methods: Clarifying intentions. *Building Research and Information*, *27*(4–5), 230–246. DOI: https://doi.org/10.1080/096132199369354

Cole, R. J. (2002). Emerging trends in building environmental assessment methods. *Building Research & Information*, *26*(1), 3–16. DOI: https://doi.org/10.1080/096132198370065

Cranz, G., Lindsay, G., Morhayim, L. y Lin, A. (2014). Communicating Sustainability: A Postoccupancy Evaluation of the David Brower Center. *Environment and Behavior*, *46*(7), 826–847. DOI: https://doi.org/10.1177/0013916513475449

D'Oca, S., Hong, T. y Langevin, J. (2018). The human dimensions of energy use in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*, pp. 731–742. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.019

De Dear, R. J. y Brager, G. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, *34*(6), 549–561. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1

Deuble, M. P. (2007). *Green Occupants for Green Buildings*. Macquarie.

Deuble, M. P. y de Dear, R. J. (2012). Green occupants for green buildings: The missing link? *Building and Environment*, *56*(56), 21–27. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.029

Deuble, M. P. y de Dear, R. J. (2009). Do green buildings need green occupants? En *Proceedings of Healthy Buildings 2009* (pp. 843–846). Recuperado de https://researchers.mq.edu.au/en/publications/do-green-buildings-need-green-occupants

Ding, G. K. C. C. (2008). Sustainable construction-The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, *86*(3), 451–464. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025

Dunlap, R. E. y Van Liere, K. D. (1978). The "new environmental paradigm". *Journal of Environmental Education*, *9*(4), 10–19. DOI: https://doi.org/10.1080/00958964.1978.10801875

Dunlap, R. E., Van Liere, K. D., Mertig, A. G. y Jones, R. E. (2000). New Trends in Measuring Environmental Attitudes: Measuring Endorsement of the New Ecological Paradigm: A Revised NEP Scale. *Journal of Social Issues*, *56*(3), 425–442. DOI: https://doi.org/10.1111/0022-4537.00176

Fabi, V., Andersen, R. y Corgnati, S. (2011). Description of occupant behaviour in building energy simulation: state-of-art and concepts for improvements. *Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November*, 2882–2889.

Fountain, M., Brager, G. y de Dear, R. (1996). E IEl GY AHD BUILDIPIG Expectations of indoor climate control. *Energy and Buildings*, *24*(3), 179-182.

Frondel, M. (2004). Guest editorial: Energy conservation, the rebound effect, and future energy and transport technologies: An introduction to energy conservation and the rebound effect. *International Journal of Energy Technology and Policy*, *2*(3), 203–208.

Garrote, P. R. y Rojas, M. del C. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada a la Enseñanza de Lenguas*, *18*, 124–139.

Gou, Z. (2016). Green building for office interiors: challenges and opportunities. *Facilities*, *34*(11–12), 614–629. DOI: https://doi.org/10.1108/F-04-2015-0022

Gou, Z. (2019). Human Factors in Green Building: Building Types and Users' Needs. *Buildings*, *9*(1), 17. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings9010017

Gou, Z., Prasad, D. y Siu-Yu Lau, S. (2013). Are green buildings more satisfactory and comfortable? *Habitat International*, *39*, 156–161. DOI: https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2012.12.007

Grossmann, D., Galvin, R., Weiss, J., Madlener, R. y Hirschl, B. (2016). A methodology for estimating rebound effects in non-residential public service buildings: Case study of four buildings in Germany. *Energy and Buildings*, *111*, 455-467 DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.063

Harland, P., Staats, H. y Wilke, H. A. M. (1999). Explaining Proenvironmental Intention and Behavior by Personal Norms and the Theory of Planned Behavior. *Journal of applied social psychology, 29*(12), 2505-2528. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1999.tb00123.x

Heerwagen, J. (2000). Green buildings, organizational success and occupant productivity. *Building Research and Information*, *28*(5–6), 353–367. DOI: https://doi.org/10.1080/096132100418500

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y del Pilar Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la Investigación.* México D.F: McGraw Hill.

Hill, A., Han, Y., Taylor, J. E., Shealy, T., Pearce, A. y Mohammadi, N. (2019). Empirical examination of pro-environmental behaviors in traditional, green featured and LEED certified buildings. *Energy Procedia*, *158*, 3982–3987. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.843

Hoffman, A. y Henn, R. (2008). Overcoming the Social and Psychological Barriers to Green Building. *Organization & Environment*, *21*(4), 390–419. DOI: https://doi.org/10.1177/1086026608326129

Hong, T., Yan, D., D'Oca, S. y Chen, C. (2017). Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. *Building and Environment*, *114*, 518–530. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.006

Hopwood, B., Mellor, M. y O'Brien, G. (2005). Sustainable development: Mapping different approaches. *Sustainable Development*, *13*(1), 38–52. DOI: https://doi.org/10.1002/sd.244

Hostetler, M. y Noiseux, K. (2010). Are green residential developments attracting environmentally savvy homeowners? *Landscape and Urban Planning*, *94*(3–4), 234–243. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.008

Illankoon, I. M. C. S., Tam, V. W. Y., Le, K. N. y Shen, L. (2017). Key credit criteria among international green building rating tools. *Journal of Cleaner Production*, *164*, 209–220. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.206

Karjalainen, S. (2016). Should we design buildings that are less sensitive to occupant behaviour? A simulation study of effects of behaviour and design on office energy consumption. *Energy Efficiency*, *9*(6), 1257–1270. DOI: https://doi.org/10.1007/s12053-015-9422-7

Karjalainen, S. y Koistinen, O. (2007). User problems with individual temperature control in offices. *Building and Environment*, *42*(8), 2880–2887. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.031

Khashe, S., Heydarian, A., Gerber, D., Becerik-Gerber, B., Hayes, T. y Wood, W. (2015). Influence of LEED branding on building occupants' pro-environmental behavior. *Building and Environment*, *94*, 477–488. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.005

Kirk, J. L. (2010). *Sustainable environments and pro-environmental behavior*. University of Nebraska at Lincoln. Recuperado de http://digitalcommons.unl.edu/arch_id_theseshttp://digitalcommons.unl.edu/arch_id_theses/2

Kollmuss, A. y Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, *8*(3), 239–260. DOI: https://doi.org/10.1080/13504620220145401

Labartino, I. (2018). *Building certification as a driver in green building design: The holistic apporach of WELL*. Stockholm: KTH, School of Architecture and the Built Environment.

Leaman, A. y Bordass, B. (2001). Assessing building performance in use 4: The Probe occupant surveys and their implications. *Building Research and Information*, *29*(2), 129–143. DOI: https://doi.org/10.1080/09613210010008045

Lee, Y. S. (2010). Office layout affecting privacy, interaction, and acoustic quality in LEED-certified buildings. *Building and Environment*, *45*(7), 1594–1600. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.007

Lindenberg, S. y Steg, L. (2007). Normative, Gain and Hedonic Goal Frames Guiding Environmental Behavior. *Journal of Social Issues*, *63* (117-137). DOI: 10.1111/j.1540-4560.2007.00499.x

Mattinzioli, T., Sol-Sánchez, M., Moreno, B., Alegre, J. y Martínez, G. (2020). Sustainable building rating systems: A critical review for achieving a common consensus. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *51*(5), 512–534. DOI: https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1732781

McCunn, L. J. y Gifford, R. (2012). Do green offices affect employee engagement and environmental attitudes? In *Architectural Science Review*, *55*(2), 128–134. DOI: https://doi.org/10.1080/00038628.2012.667939

Moezzi, M. (2009). Are comfort expectations of building occupants too high? *Building Research and Information*, *37*(1), 79–83. DOI: https://doi.org/10.1080/09613210802611009

Mokhtar, N. S. y Wilkinson, S. (2015). Motivation Factors in Energy Saving Behaviour between Occupants in Green and Conventional Buildings — Malaysia Case Study. *International Journal of Environmental Science and Development*, *6*(7), 491–497. DOI: https://doi.org/10.7763/ijesd.2015.v6.643

Mokhtar, N. S., Wilkinson, S. y Fassman, E. (2015). Strategies for improving energy saving behaviour in commercial buildings in Malaysia. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *22*(1), 73–90. DOI: https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2014-0054

Nagy, Z., Yong, F. Y., Frei, M. y Schlueter, A. (2015). Occupant centered lighting control for comfort and energy efficient building operation. *Energy and Buildings*, *94*, 100–108. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.053

O'brien, W. (2013). Occupant-proof buildings: can we design buildings that are robust against occupant behaviour. *13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28* (pp. 746–1754).

Palme, M., Isalgue, A., Coch-Roura, H., Serra, R. y Coch, H. (2006). Robust design: A way to control energy use from the human behaviour in architectural spaces. En *PLEA 2006 - 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference Proceedings, September* (pp. I311–I316).

Pierson, L. (2020). *Building for Wellness-Healthy Building Course for Cal Poly SLO CM Department*. Recuperado de https://digitalcommons.calpoly.edu/cmsp/365/

Ramkissoon, H., Weiler, B. y Smith, L. D. G. (2012). Place attachment and pro-environmental behaviour in national parks: The development of a conceptual framework. *Journal of Sustainable Tourism*, *20*(2), 257–276. DOI: https://doi.org/10.1080/09669582.2011.602194

Rashid, M., Spreckelmeyer, K., & Angrisano, N. J. (2012). Green buildings, environmental awareness, and organizational image. *Journal of Corporate Real Estate*, *14*(1), 21–49. DOI: https://doi.org/10.1108/14630011211231428

Samani, S. A. (2015). The impact of personal control over office workspace on environmental satisfaction and performance. *Journal of Social Sciences and Humanities*, *1*(3), 163-175. Recuperado de http://www.aiscience.org/journal/jssh

Sorrell, S. (2007). The rebound effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency. *Australian family physician, 42*(4). UK Energy Research Centre. DOI: https://doi.org/1-903144-0-35

Stazi, F. y Naspi, F. (2018). *Impact of Occupants' Behaviour on Zero-Energy Buildings*. Cham: SpringerBriefs in Energy.

Steinberg, D., Patchan, M., Schunn, C. y Landis, A. (2009). Determining Adequate Information for Green Building Occupant Training Materials. *Journal of Green Building*, *4*(3), 143–150.

Stern, P. C. (2000). Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior. *Journal of Social Issues*, *56*(3), 407–424.

Tezel, E. y Giritli, H. (2019). Understanding pro-environmental workplace behavior: a comparative study. *Facilities*, *37*(9–10), 669–683. DOI: https://doi.org/10.1108/F-12-2017-0134

USGBC (2016). *LEED 2009 for Core and Shell Development Rating System*. Recuperado de https://www.usgbc.org/resources/leed-2009-core-and-shell-current-version

Van den Brom, P., Meijer, A. y Visscher, H. (2016). Reducing the performance gap by analysing specific combinations of occupant and building characteristics. En *4th European Conference on Behaviour and Energy Efficiency (Behave 2016)*, *September*, *8–9*. Recuperado de http://pure.tudelft.nl/ws/files/10412927/Brom_Meijer_Visscher.pdf

Vine, E., Lee, E., Clear, R., DiBartolomeo, D. y Selkowitz, S. (1998). Office worker response to an automated venetian blind and electric lighting system: a pilot study. *Energy and Buildings*, *28*(2), 205–218.

Wagner, A., Gossauer, E., Moosmann, C., Gropp, T. y Leonhart, R. (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction-Results of field studies in German low energy office buildings. *Energy and Buildings*, *39*(7), 758–769. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.013

Wen, B., Musa, N., Onn, C. C., Ramesh, S., Liang, L. y Wang, W. (2020). Evolution of sustainability in global green building rating tools. *Journal of Cleaner Production*, *259*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120912

Wu, S. R. (2016). *Green buildings and green users: an assessment of using green building environments to communicate sustainability to users*. Michigan: Michigan State.

Wu, S. R., Greaves, M., Chen, J. y Grady, S. C. (2017). Green buildings need green occupants: a research framework through the lens of the Theory of Planned Behaviour. *Architectural Science Review*, *60*(1), 5–14. https://doi.org/10.1080/00038628.2016.1197097

Wu, S. R., Green, M., Chen, J., Tang, Y. y Yang, A. (2015). Green building design and visual persuasion on occupants' pro - environmental behaviours. *Living and Learning: Research for a Better Built Environment, 49th International Conference of the Architectural Science Association*, 133–142.

Wu, S. R., Kim, S.-K., Park, H., Fan, P., Ligmann-Zielinska, A. y Chen, J. (2017). How do green buildings communicate green design to building users? A survey study of a leed-certified building. *Journal of Green Building*, *12*(3), 85–100. DOI: https://doi.org/doi.org/10.3992/1943-4618.12.3.85

Xue, F., Lau, S. S. Y., Gou, Z., Song, Y. y Jiang, B. (2019). Incorporating biophilia into green building rating tools for promoting health and wellbeing. *Environmental Impact Assessment Review*, *76*, 98–112. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.02.004

Zuo, J. y Zhao, Z. Y. (2014). Green building research-current status and future agenda: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *30*, 271–281. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.021

CC BY SA

Recibido 30/08/2021
Aceptado 06/12/2021

TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN EN ARQUITECTURA ENTRE 2016-2020 EN LA BASE DE DATOS SCOPUS Y SU RELACIÓN CON LA CREACIÓN DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

ARCHITECTURE RESEARCH TRENDS BETWEEN 2016-2020 IN THE SCOPUS DATABASE, AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE CREATION OF RESEARCH GROUPS

CLAUDIA COSTA-DE LOS REYES
Magíster en Construcciones
Docente de la Escuela de Arquitectura
Universidad Internacional del Ecuador
Loja, Ecuador
https://orcid.org/0000-0001-6389-3094
clcostade@uide.edu.ec

SILVIA VIÑÁN-LUDEÑA
Magíster en Arquitectura
Docente de la Escuela de Arquitectura
Universidad Internacional del Ecuador
Loja, Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-5600-6159
sivinanlu@uide.edu.ec

MARÍA ISABEL VIVANCO-VILLAVICENCIO
Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética
Docente de la Escuela de Arquitectura
Universidad Internacional del Ecuador
Loja, Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-3773-6981
mavivancovi@uide.edu.ec

FERNANDO MONCAYO-SERRANO
Magíster en Construcciones
Docente de la Escuela de Arquitectura
Universidad Internacional del Ecuador
Loja, Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-8053-4541
femoncayose@uide.edu.ec

RESUMEN

El interés por dinamizar la investigación dentro de las universidades ha puesto en evidencia la necesidad de creación de grupos de investigación. En este sentido, el objetivo del estudio que aquí se expone es relacionar los datos obtenidos de la bibliometría con el perfil e interés de los investigadores de la Escuela de Arquitectura para identificar nichos de investigación que orienten la labor de dichos grupos de investigación. El trabajo, en concreto, se realizó a través de una revisión sistemática y un uso de herramientas bibliométricas de la producción científica publicada los últimos cinco años dentro del dominio de arquitectura en la base de datos SCOPUS. La investigación se llevó a cabo bajo cinco pasos que direccionan el proceso: búsqueda, evaluación, síntesis, análisis y monitoreo. Con el proceso de búsqueda se obtuvieron 1465 documentos científicos, analizados a través de la aplicación web *Bibliometrix* bajo indicadores que permitieron obtener los resultados para relacionarlos con los intereses y perfiles docentes. El análisis identificó que la sustentabilidad, el diseño y la eficiencia energética son temas de interés y constituyen focos de investigación para motivar el trabajo y la conformación de los grupos de investigación.

Palabras clave
sustentabilidad, arquitectura, bibliometría, tendencia de la investigación.

ABSTRACT

The interest in making research more dynamic within universities has evidenced the need for the creation of research groups. In this sense, the purpose of this article is to establish a relationship between the data obtained from bibliometrics and the profile and interest of Architecture Faculty researchers, to identify research niches that guide their work. This research was carried out through a systematic review and use of scientific production bibliometric tools in the last five years within the architecture domain in the SCOPUS database.

The research made used five steps that guided the process: search; evaluation; synthesis; analysis; and monitoring. Through the search process, 1,465 scientific documents were obtained, analyzed with the Bibliometrix web application using indicators that allowed obtaining the results, to connect them to both teaching interests and profiles. The analysis identified that sustainability, design, and energy efficiency are topics of interest and constitute trending topics to promote the work and the constitution of research groups.

Keywords
Sustainability, architecture, bibliometrics, research trends

INTRODUCCIÓN

El Departamento de Investigación y Postgrados de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) plantea la formación de grupos de investigación constituidos inicialmente por docentes de la institución; los objetivos de estos grupos son organizar los procesos de investigación para mejorar la participación de los investigadores y subir los índices académicos relacionados con la producción científica.

Ante la necesidad de formar un grupo de investigación en Arquitectura, se ha propuesto inicialmente aplicar técnicas bibliométricas con el fin de encontrar focos de investigación que servirán para articular los intereses de los diferentes perfiles docentes con un tema macro que direccione el trabajo del equipo.

En lo que se refiere a los grupos de investigación, las exigencias actuales del desarrollo de conocimiento científico por su complejidad se han extendido más allá de la comprensión individual especializada, por lo que se requiere complementariedades y sinergias desde la visión de diferentes investigadores (Smith, Vacca, Krenz y Mc Carty, 2021).

En ese sentido, dentro del contexto de la Escuela de Arquitectura de la UIDE, a pesar de que los integrantes principales del futuro grupo de investigación tengan en su mayoría el mismo título profesional, la especialidad difiere, siendo los más frecuentes los relacionados con la arquitectura, la construcción y proyectos arquitectónicos, por lo que es necesario establecer un proceso objetivo de selección de los temas principales de investigación con el propósito de que los participantes aporten desde sus campos de especialidad. Esto permitirá desarrollar valores y objetivos del grupo de investigación basados en la innovación, la cooperación interna, la pertinencia y la calidad de la producción académica, tal como la bibliografía revisada informa (Agnete, Aina, Svein y Ingvild, 2016).

Por otro lado, es preciso aclarar que dentro de la organización interna de la Escuela de Arquitectura ya existe un grupo de investigación que trata los temas urbanos y territoriales, por tanto, esta investigación se centra en los temas relacionados con arquitectura y edificación, sin embargo, los integrantes del grupo de investigación existente también fueron considerados para este estudio.

El dinamismo de la investigación dentro de las universidades ha puesto en evidencia la necesidad de creación de grupos de investigación y planteamiento de líneas de investigación que permitan enfocar el trabajo en temas relevantes para la sociedad. En este contexto, analizar las tendencias de investigación dentro de una disciplina o área de conocimiento, es muy importante y ha dado lugar a diversas revisiones sistemáticas de literatura especializada y estudios bibliométricos que, a través de indicadores, permiten evaluar la ciencia y la productividad científica (Gallardo, 2016), además de orientar a la comunidad científica y académica respecto a los temas relevantes que deben ser investigados.

Asimismo, los medios de comunicación científica se van consolidando desde las revistas internacionales y de acceso abierto. En ese sentido, a la vez que crece exponencialmente dicha producción, también se van generando interfaces de ambiente web con el propósito de brindar un conjunto de herramientas para la investigación cuantitativa cienciométrica y bibliométrica. La complejidad de la producción científica se aprecia, sobre todo, gracias a la existencia de los distintos canales de comunicación; no todos los artículos se publican en revistas de acceso abierto (Van Raan, 2014), sin embargo, este recurso nos aproxima a una realidad en construcción.

En los últimos años, este tipo de estudios ha despertado el interés de investigadores que analizan la evolución y tendencias de tópicos más desarrollados (Bermeo-Giraldo, Acevedo, Palacios, Benjumea y Arango-Botero, 2020; Ramos-Sanz, 2019; Manterola, Astudillo, Arias y Claros, 2013; entre otros). No obstante, y a pesar de que existen estas revisiones, no se ha realizado un estudio que muestre la relación de los temas en cuestión con la creación de grupos de investigación y el perfil de los investigadores.

Como informa Blakeman (2018), la bibliometría ofrece una gama de técnicas y medidas cuantitativas que son usadas para medir la cantidad de publicaciones de un autor, grupos de investigación o instituciones enteras. Junto a ello, se emplean, como herramientas de búsqueda para identificar investigaciones actualizadas, redes de autores y conexiones entre instituciones (Blakeman, 2018). Si bien la bibliometría y las revisiones de literatura son técnicas que ofrece información cuantitativa sintetizada de los artículos publicados, pueden carecer de rigor y presentar errores producidos por el sesgo de los investigadores, por lo tanto, es necesario determinar procesos metodológicos que conduzcan la investigación por caminos más objetivos (Snyder, 2019).

En el caso específico de la arquitectura y la edificación, los estudios bibliométricos de focos de investigación generales son escasos. Ramos-Sanz (2019), por ejemplo, señala que, en el análisis bibliométrico de cinco revistas internacionales de los últimos veinte años, los tópicos más tratados son: a) Transformación visual del 2d al 5d; b) Transformación del objeto arquitectónico en flujos; y c) Transformación del proceso constructivo en información. De acuerdo con Wen, Ren, Lu y Wu (2021), las temáticas tratadas giran alrededor de las tecnologías digitales BIM, herramienta que estaría produciendo los cambios más importantes en la arquitectura y construcción.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta propuesta busca proporcionar una visión descriptiva de lo que se está investigando en el campo de arquitectura en los últimos cinco años, a partir de técnicas de revisión sistemáticas, del uso de herramientas bibliométricas y del monitoreo del interés investigativo de los docentes de la Escuela de Arquitectura (UIDE) que faciliten la identificación de las tendencias de investigación y sus perspectivas. Los pasos para dicha exploración se determinan con base en los tipos de revisiones comunes que consideran un marco de trabajo que, a su vez, implica: 1) búsqueda; 2) evaluación; 3) síntesis; 4) análisis, asociado a la metodología conocida en inglés como "SALSA framework" (Grant y Booth, 2009); y 5) monitoreo de datos bibliográficos con los intereses y perfiles docentes.

En suma, el estudio se enmarca en las tipologías de revisión de literatura y revisión cartográfica definidas por Grant y Booth (2009), puesto que trabajan con documentos publicados que han sido revisados por pares, con criterios de búsqueda con los cuales se puede graficar la información para la consolidación, análisis y relación de la misma, como también por su contribución respecto a la investigación en temáticas de arquitectura y conformación de grupos de investigación. A partir de lo anterior, se sintetizan las características tomadas de las revisiones que guían el trabajo (Tabla1).

La investigación se realiza a partir de un estudio bibliométrico de la producción científica asociado al tema de arquitectura en la base de datos SCOPUS que indexa más de 41000 revistas científicas y que, gracias a su amplia base de datos y su factor de impacto, ha ganado prestigio constituyéndose en un portal de ciencia (Aguaded, 2020). Para definir la ecuación de búsqueda, se emplea la clasificación de códigos ASJC (All Science Journal Classification) de SCOPUS, los cuales permiten limitar la búsqueda dentro de la categoría y clasificación del área temática de arquitectura (2216, *architecture*), filtrando los resultados.

Para afinar la búsqueda, se aplican los siguientes criterios de inclusión: últimos cinco años, países iberoamericanos -para considerar todos los países que hablan español, pero también a Brasil y Portugal-, y tipos de documentos relacionados (Article-ar / Abstract Report-ab / Book-bk / Book Chapter-ch / Conference Paper-cp / Conference Review-cr / Review-re). Como criterio de exclusión, se limita la indagación a las áreas temáticas asociadas a urbanismo e ingeniería, por cuanto se busca definir un grupo enfocado en arquitectura y edificación. De esta manera, se obtienen 1465 documentos, que son exportados en formato bib y csv, incluyendo citas, información bibliográfica, resúmenes y palabras clave, lo cual permite tener una visión clara del ámbito de estudio (Tabla 2).

Revisión de literatura	Revisión de material publicado que permite examinar la información actual respecto a un tema, a partir de una búsqueda estructurada, en donde no se realiza una evaluación de la calidad de los trabajos. La síntesis es narrativa y el análisis es cronológico y temático.
Revisión cartográfica	Revisión que mapea y categoriza la literatura existente a través de las búsquedas definidas en un periodo específico sin una evaluación formal de la calidad de la información. La síntesis es gráfica o tabular y el análisis puede ser cuantitativo o cualitativo, dependiendo del diseño de la búsqueda

Tabla 1. Síntesis de las tipologías de revisiones empleadas en la investigación Fuente: Elaboración de los autores con base en Grant y Booth (2009).

Ecuación de búsqueda	Base de datos	Años	Tipos de doc	Países	Doc. analizados
Código ASJC2216, architecture	SCOPUS	2016 - 2020	Ar, ab, bk, ch, cp, cr, re	Iberoamericanos	1465

Tabla 2. Estrategias de búsqueda. Fuente: Elaboración de los autores.

Para la evaluación, se utiliza la herramienta *Bibliometrix*, que es de código abierto y facilita el mapeo científico (Duque y Cervantes, 2019; Aria y Cucurrullo, 2017). Esta herramienta analiza la información a través de indicadores de producción, visibilidad e impacto y de colaboración (Chuquin y Salazar, 2019). La información se muestra mediante cartografías científicas y datos, lo que hace posible realizar síntesis a través del estudio de datos respecto a producción científica anual, productividad por países, impacto en revistas, palabras clave, tendencia de tópicos, entre otros factores. Los datos se extraen como gráficos y tablas que permiten clasificar y relacionar la información. En la fase siguiente se realiza el análisis descriptivo bibliométrico, examinando a profundidad la información para identificar los temas relevantes que se investigan actualmente. Finalmente, esta información se contrasta con los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los docentes de la Escuela de Arquitectura (UIDE) para, con ello, generar los resultados y la discusión que identifican las relaciones de los temas con el perfil e interés de los investigadores (Figura 1).

Los indicadores de *Bibliometrix* (Gallardo, 2016) se clasifican en tres tipos: el primero se enfoca en indicadores de producción científica; el segundo agrupa los indicadores de impacto y visibilidad del autor; y el último contiene indicadores de colaboración. Los

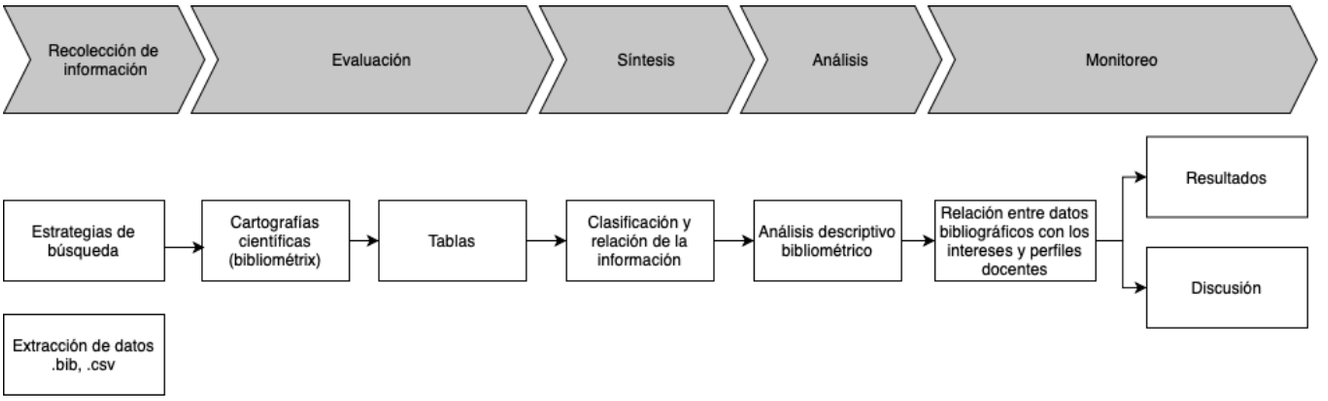

Figura 1. Procedimiento metodológico. Fuente: Elaboración de los autores con base en Grant y Booth (2009).

TIPOS DE INDICADORES EN BIBLIOMETRIX	INDICADOR	ESTRATEGIA DE ANÁLISIS	OBJETIVO DE ANÁLISIS	RESULTADOS
Productividad	Índice H en revistas	Describir Comparar	Índice H: descripción y comparación de los artículos en revistas.	Identificar de las revistas de mayor producción científica en la temática investigada.
Impacto y visibilidad	Ley de Lotka	Describir Identificar Relacionar	Ley de Lotka: Identificar si la mayoría de los autores publican el menor número de trabajos, mientras que unos pocos autores publican la mayor parte de la bibliografía relevante sobre un tema de investigación, y forman el grupo más prolífico.	Identificar a los autores, las afiliaciones, los países y la producción científica relevante que ayudan a relacionar datos.
	Relevancia de las afiliaciones		Relevancia de las afiliaciones: Identificación de las instituciones y universidades a las que pertenece el autor.	
	Relación autores por países		Relación de autores por países: Identificación de los países a los que pertenecen los autores que más publican.	
	Producción científica por país		Producción científica por país: Identificación de los países con mayor producción científica en los temas de análisis en base a los autores de mayor impacto.	
	Países más citados.		Países más citados: Identificación de los países con mayor producción científica en los temas de análisis en base a los autores de mayor impacto.	

Colaboración	Documento más citado por año	Identificar Relacionar Comparar Conectar	Documento más citado por año: Identificar los documentos más citados que se relacionan con la temática en estudio.	Identificar y analizar los documentos más citados.
	Palabras clave de autor		Palabras clave de autor: Relaciona las palabras más frecuentes.	Identificar a través de las palabras clave los temas en tendencia de publicación en la temática.
	Estructura conceptual		Estructura conceptual: Identificación de la conexión entre los términos de selección.	Relacionar y analizar la conexión de los términos seleccionados.
	Estructura social		Estructura social: Relación entre autores, países e instituciones.	Identificar los autores, países e instituciones que se vinculan en la temática.

Tabla 3. Tipos de indicadores en Bibliometrix. Fuente: Elaboración de los autores con datos de la guía (Ciencia Unisalle, 2020).

indicadores de productividad científica registran el crecimiento y distribución de la producción científica por años, la concentración de los temas en las revistas y la distribución geográfica de la producción. Los indicadores de impacto y visibilidad revelan la influencia que produce el contenido en la comunidad científica. Por último, los indicadores de colaboración pueden leerse a través de mapas estructurales que relacionan varios indicadores en una sola imagen.

En el marco del presente estudio, se seleccionaron los indicadores capaces de conducir a los hallazgos requeridos para sustentar el objetivo de la investigación (Tabla 3).

Como última instancia fue llevada a cabo una encuesta analítica de preguntas cerradas a los docentes de la Escuela de Arquitectura (UIDE), mediante la cual se obtuvo información referente a: 1) título de tercer nivel; 2) título de cuarto nivel; y 3) preferencias de investigación según los datos bibliométricos. Esto permitió relacionar el perfil de los docentes con los temas de interés principales que podrán ser tratados en el grupo de investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previamente se describieron las características claves del proceso de investigación, en donde limitar las búsquedas y enfocar la revisión dentro del dominio de "Arquitectura" permitió identificar temáticas relevantes de actualidad que contribuyeran a enfocar el trabajo de los grupos de investigación en arquitectura y el establecimiento de las líneas específicas de investigación.

A partir de lo anterior, se obtuvieron una serie de resultados que se exponen a continuación. Respecto a la producción

Tipos de Documentos	Resultados
Artículos	998
Capítulos de libro	64
Artículos de conferencia	327
Revisiones de literatura	76

Tabla 4. Tipos de documentos encontrados. Fuente: Elaboración de los autores con *Bibliometrix.*

científica de los últimos 5 años y considerando los 1465 documentos exportados de la búsqueda, circunscritos al ámbito de arquitectura, los documentos publicados son los referidos en la Tabla 4.

Con base en una revisión general de los indicadores generados en *Bibliometrix* y luego de seleccionar a través de criterios cualitativos los indicadores que abordan el objeto de la investigación, se ejecutó en el programa la ecuación de búsqueda con los códigos expuestos en el apartado dedicado a la metodología.

El índice H en revistas evidencia que, para la presente investigación, las tres revistas de mayor relevancia en las que se advierte mayor producción de artículos son Journal of building Engimeering, ARQ y International Journal of Architectural Heritage. De los 1465 documentos publicados la primera revista corresponde a un 7.78%, la segunda, a un 6.69%, y la tercera, a un 6.01%; porcentajes que sumados constituyen el 20.68% de la producción total. Las diez revistas con mayor productividad se aprecian en la Tabla 5.

De las diez revistas identificadas, se observa que cinco publican frecuentemente artículos en español: cuatro universidades de Chile y una de España. Una vez identificadas las revistas,

Revistas	Documentos	Idioma de la publicación	Afiliación Universitaria Directa	País Sede
Journal of Building Engineering	114	Inglés	No	Internacional
Arq	101	Español	Sí	Chile
International Journal of Architectural Heritage	88	Inglés	No	Internacional
Aus	86	Español	Sí	Chile
Revista 180	83	Español	Sí	Chile
Revista Invi	72	Español	Sí	Chile
Structures	59	Inglés	No	Internacional
Advances In Science Technology and Innovation	54	Inglés	No	Internacional
Buildings	45	Inglés	No	Internacional
Architecture City and Environment	43	Español	Sí	España

Tabla 5. Índice H. Fuente: Elaboración de los autores con Bibliometrix.

Documentos escritos	Nro. de autores	Proporción de autores
1	2702	0,829
2	393	0,121
3	97	0,03
4	29	0,009
5	17	0,005
6	4	0,001
7	5	0,002
8	4	0,001
9	2	0,001
10	3	0,001
11	1	0
12	1	0
17	1	0
25	1	0
39	1	0

Tabla 6. Ley de Lotka. Fuente: Elaboración de los autores con Bibliometrix.

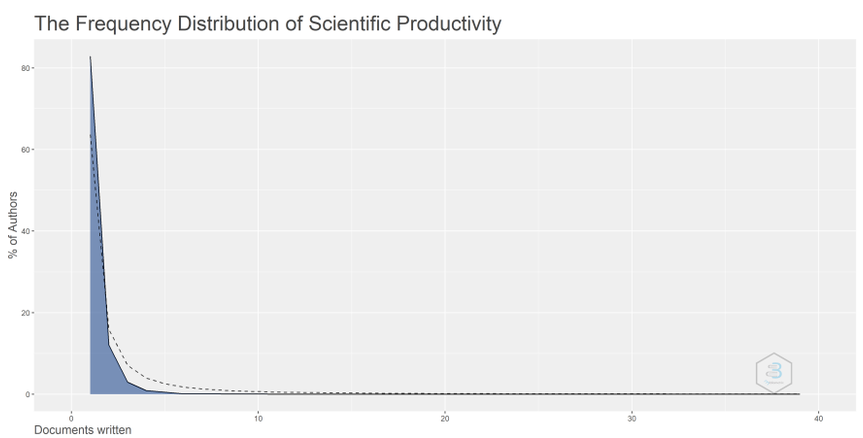

Figura 2. Ley de Lotka. Fuente: Elaboración de los autores con Bibliometrix.

Afiliación	Documentos	País
Pontificia Universidad Católica de Chile	148	Chile
Universidad de Lisboa	120	Portugal
Universidad de Minho	90	Portugal
Universidad de Chile	84	Chile
Universidad de Porto	70	Portugal
Universidad de Coimbra	59	Portugal
Universidad de Aveiro	42	Portugal
Universidad del Bío-Bío	39	Chile

Tabla 7. Relevancia de las afiliaciones. Fuente: Elaboración de los autores con Bibliometrix.

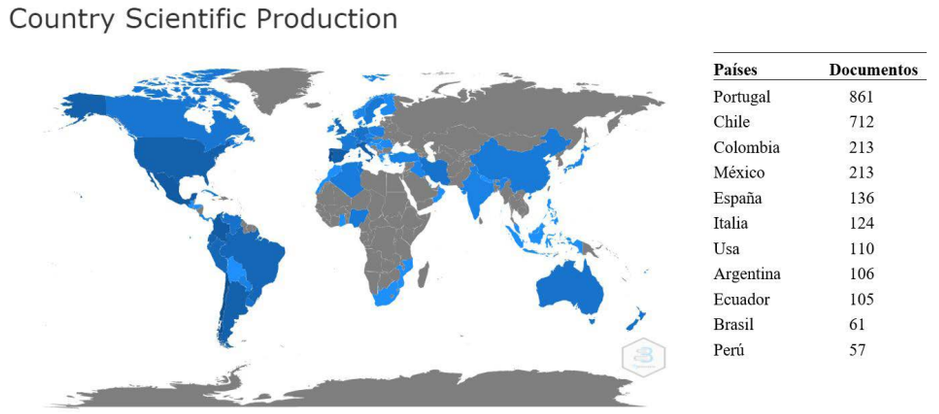

Figura 3. Indicador producción científica por países. Fuente: Elaboración de los autores con *Bibliometrix*.

las mismas se convierten en material principal para la revisión de la producción científica en tendencia.

Según la ley de Lotka, durante el período de este estudio y de acuerdo a la proporción de autores, se vislumbra que sólo el 0.5% de los autores publican un artículo por año, mientras que el 82.9% publica aproximadamente un artículo en los 5 años estudiados (Figura 2). Se demuestra así que la curva esperada de la frecuencia de distribución de productividad científica está por debajo de la ley de Lotka.

En cuanto al índice de relevancia de las afiliaciones, surge, en primer lugar, el impacto de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con el 5.11% del total, seguida por la Universidad de Minho, con el 3.10% y, en tercer lugar, la Universidad de Chile con el 2.90%. Las tres instituciones representan el 11.11% de las afiliaciones correspondientes a los artículos publicados. En la siguiente tabla se pueden apreciar las 10 primeras universidades que, para la ecuación de búsqueda, presentan mayor impacto y visibilidad. (Tabla 7).

Cabe agregar que aparecen en este índice otras universidades de Colombia, Chile, Portugal y España, como la Universidad Nova de Lisboa, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Diego Portales, la Universidad Politécnica de Madrid, entre otras. Asimismo, del total de 1219 universidades analizadas aquí, 870 registra un artículo publicado, es decir, el 71% de las publicaciones.

Las principales plataformas de comunicación que usan los autores dentro del ámbito de arquitectura se encuentran en Chile y Portugal, lo cual pone de manifiesto que las universidades identificadas son fuente de información en cuanto a su estructura de publicación y temas de interés.

El análisis del indicador de la producción científica (Figura 3) revela la capacidad académica de los países. En concreto, el país con mayor producción científica es Portugal, con un total de 861 documentos publicados en los últimos 5 años, al que le siguen Chile, Colombia y México. Por su parte, el indicador de la relación autores por países (Figura 4) expresa la relación del MCP (Multiple Countries Publication) y SCP (Single Country Publication), que permite identificar que Portugal cuenta con mayor MCP: de los 296 artículos publicados, 55 cuentan al menos con un coautor de un país diferente. Italia, en tanto, es el segundo país con mayor MCP: de los 32 artículos publicados todos poseen colaboración internacional.

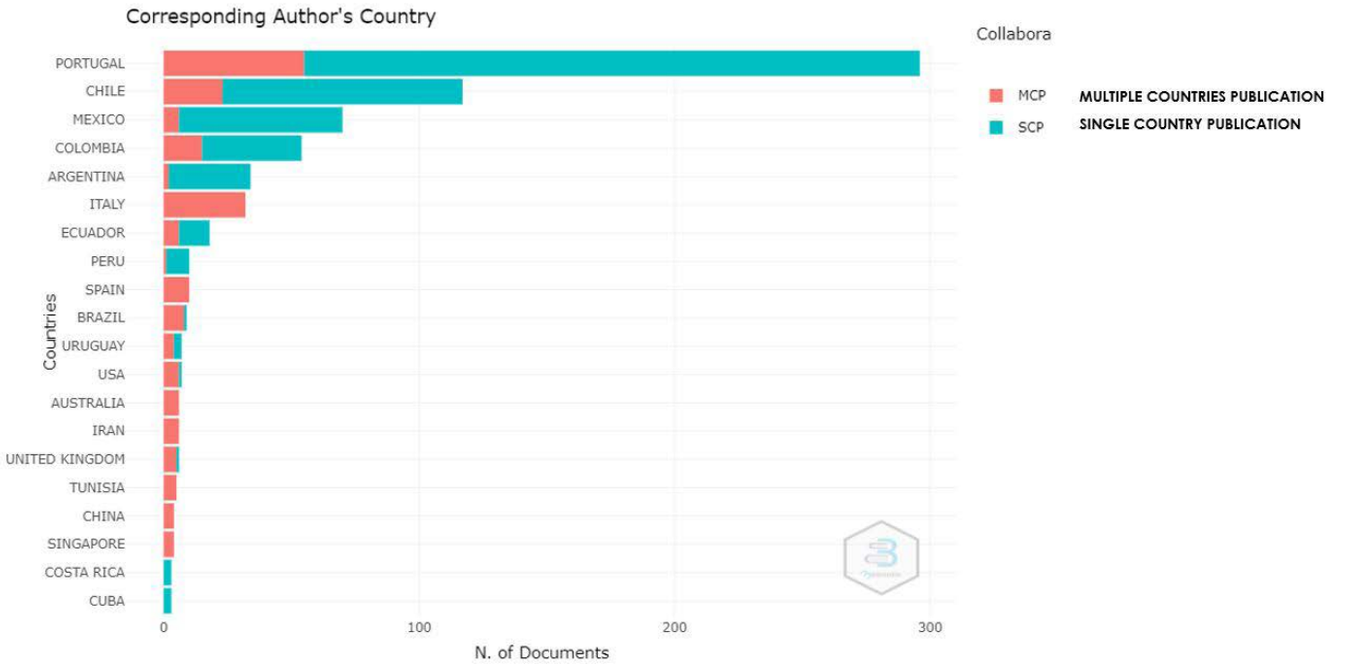

Figura 4. Indicador de la relación autores por países. Fuente: Elaboración de los autores con Bibliometrix.

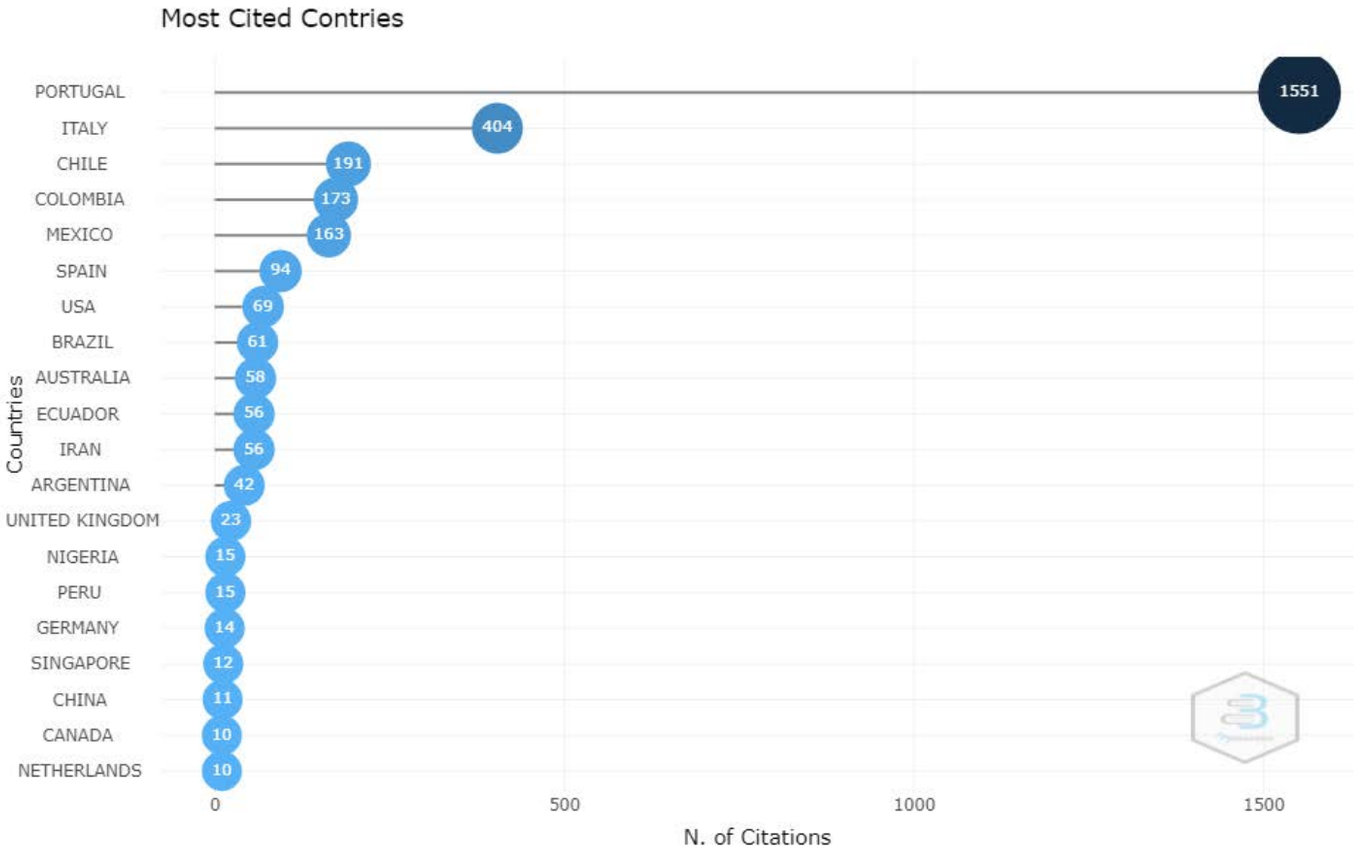

Figura 5. Indicador países más citados. Fuente: Elaboración de los autores con Bibliometrix.

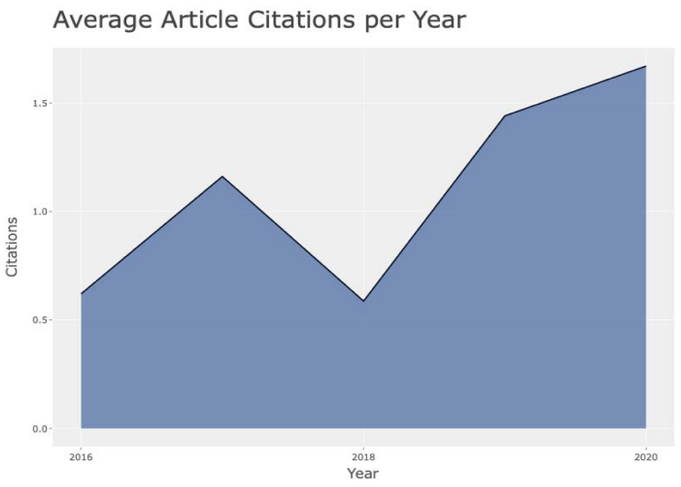

Figura 6. Promedio de citas de artículos por año. Fuente: Elaboración de los autores con Bibliometrix.

Con el indicador de los países más citados (Figura 5), es posible distinguir que Portugal está en la vanguardia de la producción científica y, por ende, es el país con mayor número de citaciones: en los últimos 5 años obtuvo 1551 citaciones. Pero es importante constatar que es relevante contar con la colaboración internacional, pues se evidencia que Italia, Portugal y Chile poseen mayor número de citaciones en sus artículos.

Tomando en cuenta el indicador de colaboración, respecto al documento más citado por año (Figura 6), se nota una relación con el código definido para la búsqueda asociado a "arquitectura" y a los criterios de exclusión: uno o más documentos publicados en 2020 recogen el mayor número de citas promedio por año, lo cual implica que el tema tiene incidencia de búsquedas.

De acuerdo a la estructura conceptual en la que se realiza la identificación de la conexión entre los temas o tópicos filtrado, y según el campo de palabras clave de autor y la concurrencia de las mismas, se agrupan en nodos principales los temas y se establecen subgrupos que permiten determinar las tendencias de investigación en arquitectura en los últimos 5 años.

En función de los datos obtenidos a través del mapa temático en *Bibliometrix*, la tendencia de temas relacionados con las palabras clave de autor encontradas que se identifican en los documentos, se puede agrupar bajo tres términos en dichos documentos contenidos: diseño, construcción y sustentabilidad (Tabla 8). Esta información es filtrada y analizada según los criterios de búsqueda antes planteados, con el objetivo de clasificar la misma en contenedores principales que permitan identificar los perfiles necesarios para abordar los tópicos en tendencia.

Gracias a la cartografía de dinámica de palabras (Figura 7), se puede conocer, a través de las palabras clave, cómo los temas en tendencia de publicación en arquitectura se han

Palabras	Etiqueta del grupo	Relación con los perfiles de investigador
Ensayo	Proyecto	Construcción
Leyes	Proyecto	Construcción
Madera	Proyecto	Construcción
Patrimonio	Patrimonio	Construcción
Rehabilitación	Rehabilitación	Construcción
Propiedades mecánicas	Rehabilitación	Construcción
Esfuerzo a la compresión	Rehabilitación	Construcción
Concreto autocompactante	Rehabilitación	Construcción
Albañilería	Albañilería	Construcción
Concreto reforzado	Albañilería	Construcción
Evaluación sísmica	Albañilería	Construcción
Vulnerabilidad sísmica	Albañilería	Construcción
Patrimonio cultural	Albañilería	Construcción
Modelado numérico	Albañilería	Construcción
Análisis de presión	Albañilería	Construcción
Proyecto	Proyecto	Diseño arquitectónico
Diseño	Proyecto	Diseño arquitectónico
Edificación	Proyecto	Diseño arquitectónico
Construcción	Proyecto	Diseño arquitectónico
Concreto	Proyecto	Diseño arquitectónico
Coexistencia	Proyecto	Diseño arquitectónico
Alojamiento	Alojamiento	Diseño arquitectónico
Arquitectura moderna	Alojamiento	Diseño arquitectónico
Diseño urbano	Alojamiento	Diseño arquitectónico
Vivienda social	Vivienda social	Diseño arquitectónico
Sostenibilidad	Sustentabilidad	Sustentabilidad
Historia	Construcción	Sustentabilidad
Eficiencia energética	Eficiencia energética	Sustentabilidad
Cambio climático	Eficiencia energética	Sustentabilidad
Confort térmico	Vivienda social	Sustentabilidad
Estabilidad	Vivienda social	Sustentabilidad

Tabla 8. Clasificación de palabras clave. Fuente: Elaboración de los autores.

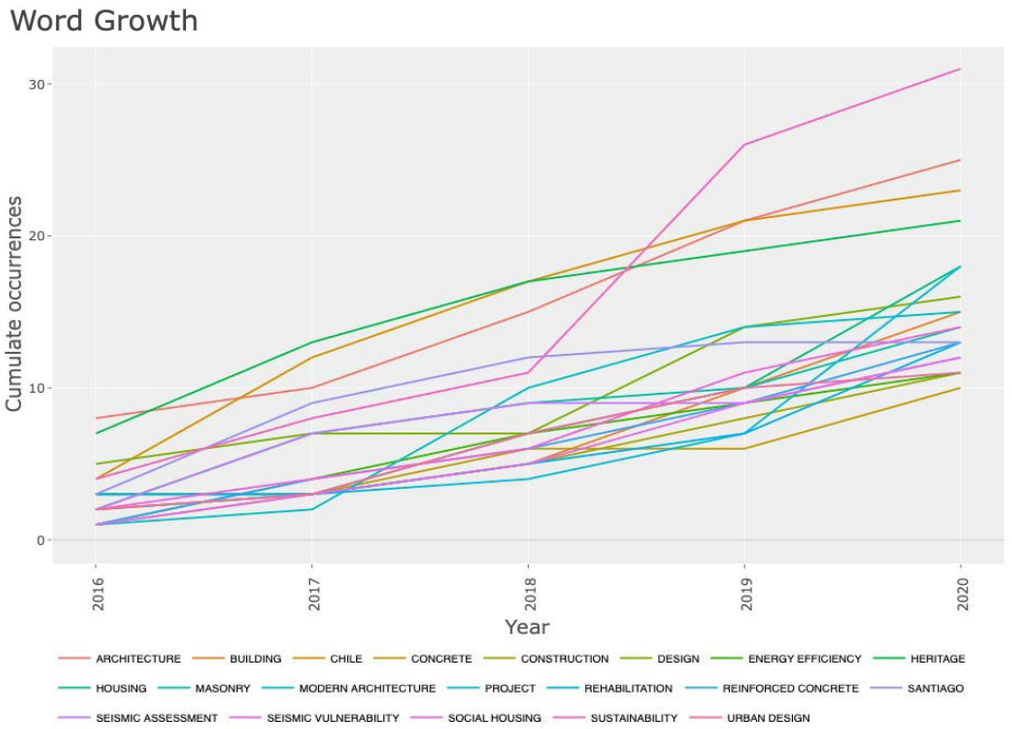

Figura 7. Crecimiento de la tendencia de palabras. Fuente: Elaboración de los autores con *Bibliometrix*.

posesionado con el tiempo. En este caso, queda expuesto que la sustentabilidad en los últimos 5 años es una temática recurrente y que alcanza su pico más alto en el año 2020, con una clara ventaja frente a los otros tópicos en tendencia.

Desde otro punto de vista, los rangos de centralidad y densidad informan acerca de las asociaciones externas e internas de los grupos. En el rango de centralidad se observa que los grupos de sustentabilidad, proyecto y alojamiento tienden a ser vinculantes y pueden ser abordados de forma multidisciplinar; en cambio, los temas relativos a patrimonio, albañilería y eficiencia energética presentan mayor frecuencia de asociaciones internas.

A través del análisis de la estructura social, se revisa la vinculación entre autores, universidades y países dentro de la investigación en arquitectura, lo que permite buscar alianzas para la colaboración en investigaciones y la creación de redes entre grupos de investigación.

De 31 universidades identificadas que investigan las temáticas ligadas a arquitectura, la Pontificia Universidad Católica de Chile y la University of Minho, son aquellas con mayor intermediación entre la Red de Colaboración de Universidades. Con la primera colaboran aproximadamente 15 universidades y con la segunda, 12 universidades. Sin embargo, no se muestra una conexión de trabajo entre ellas. En la Figura 8, se puede ver, además, redes más pequeñas de colaboración entre la Pontifica Universidad Javeriana, la Universidad de Colombia y la Universidad de los Andes y una red de colaboración entre la Universidad de Cuenca, Universidad del Azuay y la Universidad Alberto Hurtado,

Grupo	Rango de centralidad	Rango de densidad
Proyecto	12	7
Patrimonio	8	12
Rehabilitación	10	8
México	6	6
Albañilería	9	10
Sustentabilidad	13	3
Alojamiento	11	2
Eficiencia energética	7	9
Vivienda social	5	5

Tabla 9. Rangos de centralidad y densidad de los temas de tendencia. Fuente: Elaboración de los autores con *Bibliometrix*.

vinculada a la red de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Figura 8).

Asimismo, se patentiza que, a pesar de que existe colaboración entre autores dentro de las investigaciones, esta es mínima, pues solamente se visualizan ocho redes de autores entre todos los documentos analizados. Ello refleja que, en los últimos años, para consolidar las investigaciones dentro de la temática de arquitectura, estas se llevan a cabo de forma aislada, dejando de lado la creación de redes y grupos de investigación (Figura 9).

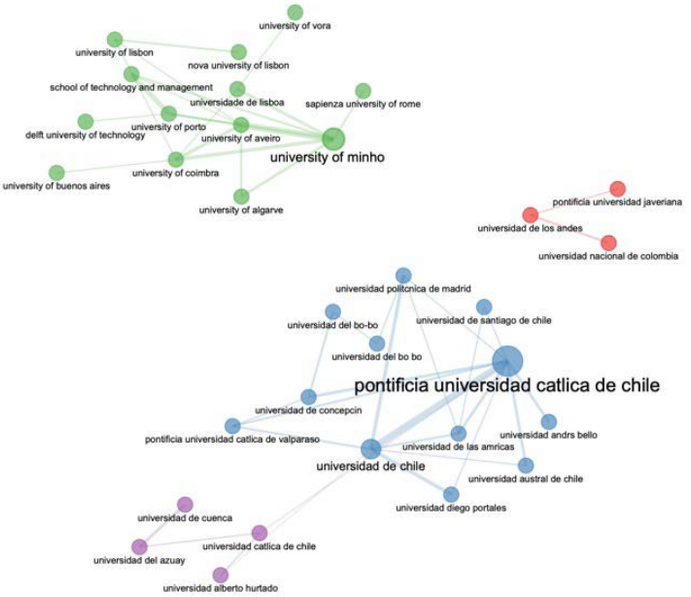

Figura 8. Red de colaboración entre universidades. Fuente: Elaboración de los autores con *Bibliometrix.*

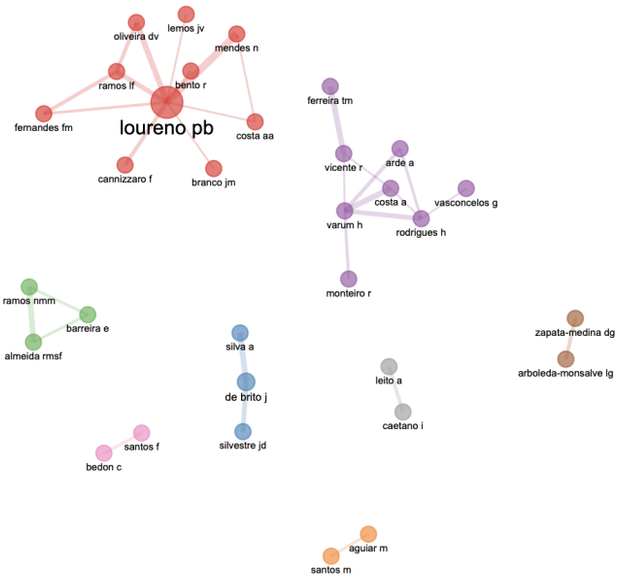

Figura 9. Redes de colaboración de autores. Fuente: Elaboración de los autores con *Bibliometrix.*

Por otra parte, relacionando campos específicos entre palabras clave, países y las afiliaciones de los autores, se pueden determinar los temas en tendencia que se investigan durante los últimos cinco años. La Figura 10 muestra que la sustentabilidad constituye el tema más investigado, que es abordado por varias universidades en diferentes países. A este campo le siguen el de diseño, materiales, patrimonio, alojamiento, eficiencia energética, confort, entre otros. Así, es dable identificar, según el tema de investigación, la posibilidad de generar alianzas con otras universidades para la creación de redes y grupos de investigación.

Se aplicó una encuesta a 19 de los 22 docentes de la Escuela (UIDE), para relacionar el perfil de formación (arquitectura y proyectos, construcciones, urbanismo y otros), con los temas encontrados en la bibliometría. En los resultados obtenidos se advirtió que las preferencias de los grupos de perfiles docentes son coincidentes (Figura 11) en arquitectura y diseño arquitectónico; sin embargo, sustentabilidad y eficiencia energética constituyen temas de interés transversal en 3 de los cuatro grupos monitoreados.

Dada la complementariedad investigación-docencia en las universidades, cabe señalar que la tendencia marcada por la temática "sustentabilidad" es visible también en el currículo de la formación profesional de arquitectos. En efecto, González y Trebilcock (2012), por ejemplo, mencionan que en el 76% de los programas de estudios de Arquitectura en Hispanoamérica se integra dicho concepto. En ese sentido, la literatura académica ha desarrollado la definición de "diseño sustentable" como un proceso creativo que busca la reducción de gastos en los recursos naturales empleados, tales como la contaminación al suelo, aire y agua, también el confort al interior de las edificaciones, el ahorro económico y financiero en los proyectos constructivos, así como la reducción de los desperdicios y desechos generados en la construcción (D'Amanzo, Mercado y Ganem-Karlen, 2020).

CONCLUSIONES

Para la formación de grupos de investigación resulta importante relacionar los enfoques actuales de investigación con los perfiles de los posibles participantes. Desde esa perspectiva, la bibliometría, en términos generales, permite visualizar las universidades de mayor producción científica y los temas actuales de potenciales investigaciones, no obstante, es necesario también articular estos temas con los intereses de investigación de los académicos. Esto ayuda a crear redes internas y externas de colaboración para plantear temas macro con diferentes subtemas, en los cuales los participantes trabajen por un mismo objetivo, pero con diferentes alternativas.

El monitoreo propuesto demuestra que, a pesar de que existan diferentes perfiles de especialización, se pueden determinar temas transversales de interés; para este caso, por ejemplo: la sustentabilidad, la eficiencia energética y el diseño arquitectónico son preferencias recurrentes en los campos de los perfiles docentes.

La aplicación de técnicas bibliométricas en el campo amplio de la arquitectura es escasa por lo que la búsqueda de nichos de investigación resulta difícil. Sin embargo, actualmente la bibliometría está siendo ampliamente

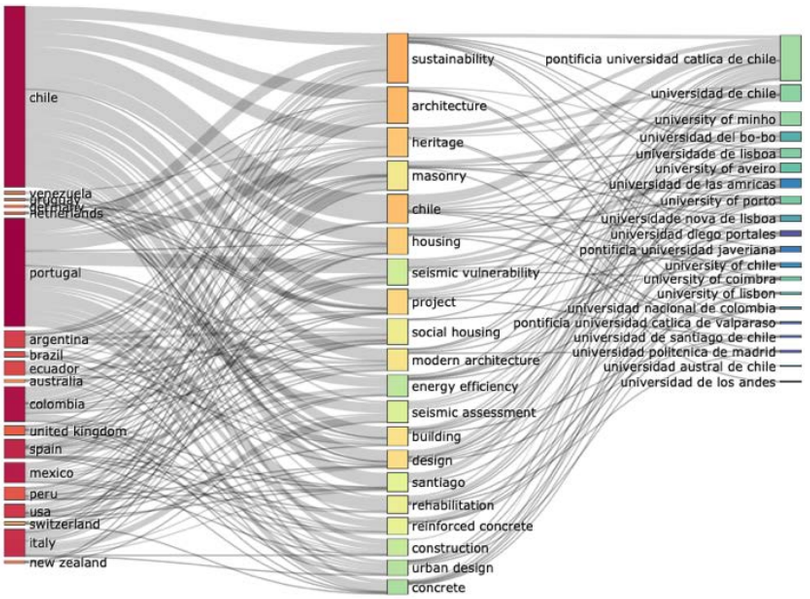

Figura 10. Relación entre temas, países y afiliaciones. Fuente: Elaboración de los autores con Bibliometrix.

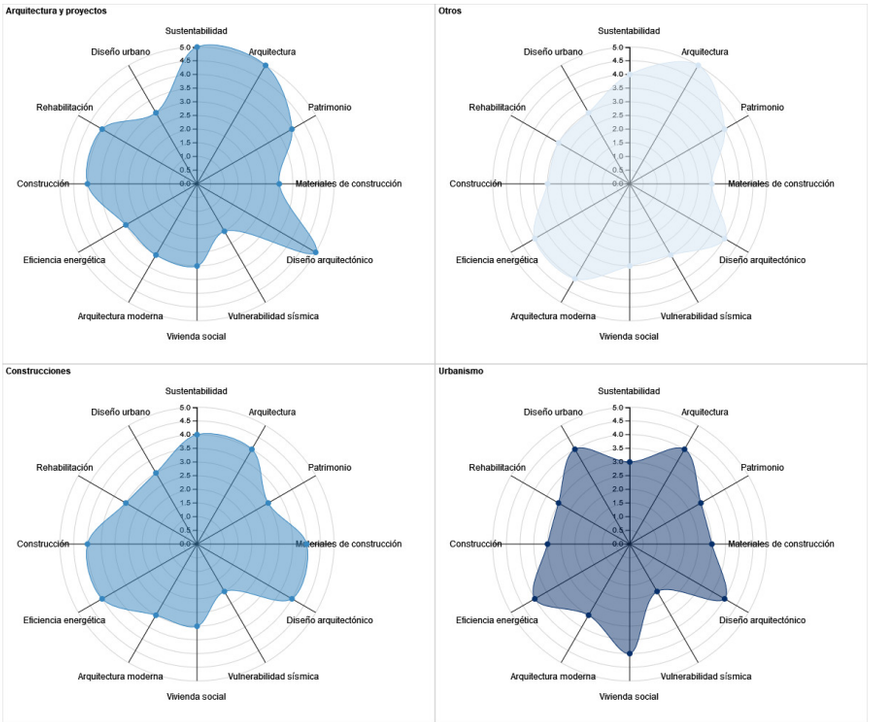

Figura 11. Relación entre grupos de perfiles docentes e intereses de investigación. Fuente: Elaboración de los autores.

utilizada para observar la evolución de la ampliación de las tecnologías digitales referidas al BIM. Con todo, es fundamental que se estudien otros tópicos para iniciar investigaciones en temas emergentes que aporten aspectos innovadores para la academia.

El análisis bibliométrico requiere de un proceso ordenado de revisión, clasificación de índices y datos enmarcados en campos concretos del conocimiento. En el caso de "arquitectura", nos encontramos que la palabra es ampliamente utilizada en otros campos diferentes a los de la profesión, por lo que se optó por utilizar el código ASJC (2216) de Scopus que permitió limitar los procesos de búsqueda a temas directamente relacionados al campo de la Arquitectura como disciplina. Así, fueron seleccionados 1465 documentos: artículos, capítulos de libro, artículos de conferencia y revisiones de literatura.

Según los criterios establecidos para la búsqueda bibliométrica en cuanto a lo relativo a los índices H y el de relevancia, se constató que, en Iberoamérica, Chile y Portugal son los países de mayor producción científica en Arquitectura y que Portugal, el que mayor producción científica presenta

tanto en publicaciones individuales como en colaboración con múltiples países. Es relevante destacar, además, que en Chile diversas universidades poseen sus propias revistas con diferentes indexaciones en bases de datos bibliográficas, lo que mejora los índices de producción científica y el desarrollo de redes de colaboración.

La curva de frecuencia de distribución de producción científica extraída desde *Bibliometrix* demuestra que el índice de producción en los últimos 5 años, para el caso de arquitectura, está bajo la curva, lo cual demuestra que es necesario cambiar los enfoques de investigación; una opción sería el trabajo en redes y grupos de investigación.

El mapeo científico ha conseguido identificar la dinámica de la investigación en el dominio de arquitectura en los últimos 5 años. A partir del análisis se puede determinar que las investigaciones están vinculadas a diseño, construcción y sustentabilidad, lo cual implica la necesidad de diferentes especializaciones que permitan abordar integralmente los estudios.

Finalmente, se evidencia que las universidades de diferentes países iberoamericanos dirigen sus estudios hacia tópicos asociados al concepto de sustentabilidad, lo que demuestra que este puede ser un hilo conductor de diversas investigaciones que motive la conformación y el trabajo de los grupos y redes de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Internacional del Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agnete, V., Aina, A., Svein, K. e Ingvild, R. (2016). The establishment of formal research groups inhigher education institutions. *Nordic Journal of Studiesin Educational Policy*, 2016(2-3). DOI: 10.3402/nstep.v2.33896

Aguaded, I. (2020). Publicado el nuevo SCOPUS-2019: 'Comunicar', indiscutible líder entre las revistas hispanas. *Comunicar. Revista Científica de Educación y Comunicación*. DOI: https://doi.org/10.3916/escuela-de-autores-136

Aria, M. y Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11*(4), 959–975. DOI: https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Bermeo-Giraldo, M. C., Acevedo Correa, Y., Palacios Moya, L., Benjumea Arias, M. y Arango-Botero, D. (2020). Evolución y tendencias investigativas sobre estrategias de gestión de conocimiento en instituciones de educación superior. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, *5821*(60), 202–227. DOI: https://doi.org/10.35575/rvucn.n60a11

Blakeman, K. (2018). Bibliometrics in a digital age: help or hindrance. *Science progress*, *101*(3), 293-310. DOI: https://doi.org/10.3184/003685018X15337564592469

Chuquin J. y Salazar W. (2019). *Manual para la aplicación de indicadores de produccion científica en Ecuador asociado a Scopus*. Recuperado de https://bookdown.org/mabecita3/_book2/#elaborado-por

Ciencia Unisallle (2020). *Guía de visualización de datos: Bibliometrix*. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/recursos_bibliograficos/30

D'Amanzo, M., Mercado, M. V. y Ganem-Karlen, C. (2020). 10 preguntas de los edificios energía cero: revisión del estado del arte. *Hábitat Sustentable*, *10*(2), 24 - 41. DOI: https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.02

Duque, P. y Cervantes, L.S. (2019). Responsabilidad Social Universitaria: una revisión sistemática y análisis bibliométrico. *Estudios Gerenciales*, *35*(153), 451-464. DOI: https://doi.org/10.18046/j.estger.2019.153.3389

Gallardo, E. (2016). *Seminario: "Bibliometría y Revisiones sistemáticas: Una aproximación al análisis de la literatura científica en el área de Empresa.* DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3461.7204

Grant, M. J. y Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, *26*(2), 91–108. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x

González C., A. y Trebilcock K., M. (2012). La sostenibilidad en el currículo de las carreras de arquitectura: Implicaciones del concepto de sostenibilidad en el perfil profesional y el plan de estudios de las carreras de arquitectura en América Latina. *Hábitat Sustentable*, *2*(1), 26-35. Recuperado de http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/410

Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E. y Claros, N. (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, *91*(3), 149–155. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2011.07.009

Ramos-Sanz, A. (2019) Transformación de la construcción y la arquitectura en los últimos veinte años: Prospectivas y perspectivas. Análisis bibliométrico de los tópicos más desarrollados en revistas internacionales de alto impacto. *Arquitecturas del Sur*, *37*(55), 106-125. DOI: http://dx.doi.org/10.22320/07196466.2019.37.055.07.

Smith, T., Vacca, R., Krenz, H. y Mc Carty, C. (2021). Great minds think alike, or do they often differ? Research topic overlap and the formation of scientific teams. *Journal of Informetrics*, *15*(1). DOI: https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101104

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333-339. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Van Raan, A. (2014). Measurement of Central Aspects of Scientific Research: Performance, Interdisciplinarity, Structure. *Measurement*, *3*(1), 1-19. Recuperado de: http://www.cwts.nl/TvR/documents/AvR-Measurem.pdf.

Wen, Q., Ren, Z., Lu, H. y Wu, J. (2021). The progress and trend of BIM research: A bibliometrics-based visualization analysis. *Automation in Construction*, *124*. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103558

CC BY SA

Recibido 19/08/2021
Aceptado 15/12/2021

EVALUACIÓN TÉRMICA Y LUMÍNICA EN PROTOTIPOS DE CUBIERTAS LIGERAS, PARA CLIMA CÁLIDO HÚMEDO

THERMAL AND LIGHTING EVALUATION IN LIGHT ROOF PROTOTYPES, FOR HOT HUMID CLIMATES

EDISON BOLIVAR ORTIZ-ZAMBRANO
Ingeniero Civil
Estudiante de posgrado de la Maestría Académica
con Trayectoria Profesional en Ingeniería Civil:
Mención en Construcción de Vivienda Social, Instituto de Posgrado
Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
https://orcid.org/0000-0001-8858-1361
bolivar_ortiz@live.com

JEFFERSON TORRES-QUEZADA
Doctor en Arquitectrura, Energía y Medio Ambiente
Docente-Investigador
Universidad Católica de Cuenca
Cuenca, Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-1832-1369
jefferson.torres@ucacue.edu.ec

JOSÉ FABIÁN VÉLIZ-PÁRRAGA
Doctor en Ciencias Técnicas
Docente Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador
https://orcid.org/0000-0001-5356-4537
jfveliz@hotmail.com

RESUMEN

El techo de chapa de zinc es uno de los elementos más populares en la arquitectura latinoamericana, y en muchas otras regiones con climas cálido húmedo. Crear alternativas lumínicas y térmicas enfocadas en esta tipología implicaría profundos beneficios en el campo ambiental y social. El presente estudio, realizado en Manabí-Ecuador, evalúa tres prototipos de cubiertas ligeras, combinando el material Zinc con el PVC, con el fin de determinar la correcta configuración del material translucido para crear ambientes que estén dentro de los parámetros térmicos y lumínicos. Los resultados indican que el modelo de soluciones empíricas presenta la menor variación de temperatura interior, con un 32,63%, a diferencia de los 32,97% del modelo tipo cruz y de los 34,40% del modelo de franjas laterales. Adicionalmente, se evidenció que la mayor influencia de radiación solar sobre la cubierta se registra desde las 13:00 h hasta las 14:00 h aproximadamente.

Palabras clave
Ecuador, vivienda, techos, comportamiento térmico interior

ABSTRACT

The zinc sheet roof is one of the most popular elements in Latin American architecture, and in many other regions with warm humid climates. Creating lighting and thermal alternatives focused on this typology would imply major benefits in the environmental and social fields. This study carried out in Manabí, Ecuador, evaluates three prototypes of light roofs, combining zinc with PVC, in order to determine the correct configuration of translucent material to create environments that are within thermal and lighting parameters. The results indicate that the empirical solutions model has the lowest variation in indoor temperature, with 32.63%, unlike the 32.97% of the cross-type model, and the 34.40% of the side strip model. Additionally, it was seen that the greatest influence of solar radiation on the roof is recorded from 1:00 p.m. to 2 p.m. approximately.

Keywords
Ecuador, housing, roofs, indoor thermal behavior.

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Fuente: Elaborado por los autores.

INTRODUCCIÓN

La cubierta es la parte superior de una edificación, cuya función principal es la de proteger su interior ante las inclemencias meteorológicas y amenazas externas. Este elemento estructural es clasificado por su forma, constitución material y complejidad (Hernández-Salomón, Rizo-Aguilera y Frómeta-Salas, 2017). Una de las múltiples opciones en el mercado ecuatoriano y la más recurrente en la construcción de vivienda de interés social (VIS) es la cubierta metálica, caracterizada por ser una lámina de acero ondulada recubierta por zinc y aluminio, conocido como Aluzinc (Véliz-Párraga y González-Couret, 2019). Esta tipología de cubierta resalta como una solución económica y resistente, de fácil aplicación y buen aspecto visual, no obstante, debido a la simple constitución estructural y a su baja transmitancia térmica, no presta las condiciones óptimas de aislamiento, lo que provoca un acelerado paso del flujo del calor en las edificaciones, generando ambientes inconfortables al interior (Rodríguez, 2017). En ciertas ocasiones se utiliza la teja translúcida de policloruro de vinilo (PVC), derivado de la sal (57 %) y del petróleo (43 %) (plasticseurope, 2021), sin embargo, la utilización de esta es reducida por presentar un alto costo, además de que una de sus características es permitir el paso de la luz cenital, que también produce un aumento en la intensidad calorífica al interior de la vivienda. La chapa de zinc, por su constitución química, tiene la cualidad de reflectancia, que la chapa de PVC no posee; esta propiedad de reflejar la luz es una de las más importantes, ya que indica la cantidad de energía radiante solar que una superficie refleja, por lo tanto, es determinante en el comportamiento térmico de los techados (Alchapar, Correa y Cantón, 2012). Asimismo, esta superficie está en alta dependencia de la posición del sol y, por ende, del espacio geográfico donde interactúa con el medio ambiente, lo cual se debe al ángulo de inclinación de los rayos solares que varían en latitud (0°-90° Norte y Sur) y longitud (0° - 180° Este y Oeste) del globo terráqueo (Oster, 2021, p. 39). Las regiones cercanas a la latitud 0° tienen como condición que la cubierta recibe los rayos solares de manera perpendicular durante todo el año, como es el caso de Ecuador (Torres, Coch y Isalgué, 2019).

El mencionado país está conformado por 24 provincias. Limitando con el Océano Pacífico se encuentran la provincia Manabí y, dentro de ella, el Cantón Portoviejo (Figura 1). Esta provincia se distingue por tener temperaturas promedio anuales entre 21°C a 29°C, divididas en dos periodos climáticos, el seco y el húmedo (Macías, 2018).

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], para el 29 de octubre del 2020, finales de la época seca, se registraron temperaturas máximas absolutas de 32°C (El Universo, 2020); para el 30 de marzo del 2018, las temperaturas máximas absolutas fueron de 34.9°C (El Diario, 2018) y, para el 10 de julio del 2014, final de la época húmeda, se alcanzaron temperaturas máximas absolutas de 35.5°C (INAMHI, 2014). Este corte longitudinal retrospectivo a través del tiempo indica el fenómeno climático que se produce a las cercanías de la latitud 0°. En ese contexto, debe considerarse que la radiación solar recibida por la cubierta produce más de un tercio de la ganancia térmica al interior de una vivienda (Osuna-Motta, Herrera-Cáceres y López-Bernal, 2017) y que las tipologías soluciones habitacionales del Cantón Portoviejo, donde prevalecen las edificaciones de baja altura (Couret y Párraga, 2019), cuyas cubiertas están elaboradas predominantemente por láminas de acero recubiertas por zinc y aluminio (Véliz-Párraga y González-Couret, 2019). Queda de manifiesto, entonces, que es dicho elemento constructivo el principal responsable de los aportes de calor hacia el interior de las viviendas.

ESTRATEGIAS PASIVAS PARA LOS TECHOS

En referencia al desempeño térmico de los techos, se han estudiado diferentes aspectos y estrategias generales como ubicación y orientación; incremento de pérdidas por convección al aprovechar la dirección de los vientos; compacidad o factor de forma; superficie útil; y volumen total de la envolvente térmica y la masa térmica de sus componentes (Sisternes, 2019).

Todas estas estrategias se han aplicado con el objetivo de reducir el disconfort térmico de los usuarios sin la necesidad del uso de sistemas activos. Otras medidas utilizan técnicas de diseño pasivo, las cuales son las encargadas de la reducción o la ganancia de calor a través de la cubierta (Torres, Viñachi, Cusquillo, Pazmiño y Segarra, 2019); entre las más usadas se encuentran: las pinturas de aislante térmico, los techos verdes (Garnica, 2020) y las máscaras por medio de protecciones solares como árboles, edificios, lamas, doble piel (Rojas, Soto y Díaz, 2020; Balter, Ganem y Discoli, 2016). Sin embargo, de todas estas gamas de estrategias abocadas a solucionar el confort de los espacios, la mayoría solo se enfoca en darle solución al confort térmico, dejando de lado los problemas lumínicos. Esta contrariedad se viene acrecentando desde la primera revolución industrial (1760-1840), como efecto de las transformaciones tecnológicas (Belén y López, 2016), al priorizarse la búsqueda de alternativas energéticas tradicionales, desde los navíos romanos que trasladaban leña, hasta la explotación de pozos petroleros. Ahora bien, como es consabido, los suministros de combustibles fósiles se acabarán mientras que el sol seguirá calentando a las generaciones futuras (Izzo, 2017). De ahí deriva la importancia del estudio de la captación de energía solar.

ENERGÍA SOLAR: FORMA Y CAPTACIÓN

El sol es el eje fundamental en la evolución de la vida en la tierra, ya que proporciona las condiciones adecuadas para la existencia de los seres vivos. Este astro se involucra en todos los ciclos productivos e, incluso, determina nuestras actividades progresistas en función del tiempo. Por esta razón, los seres humanos han tenido la necesidad de utilizar y aprovechar el sol para poder coexistir con el medio ambiente: como defensa ante el frío, para definir los tiempos de cosecha y hasta como promotor de vitamina D (Yépez, 2018). En la actualidad, no obstante, nuestras acciones ya no son regidas por el sol. Hoy, la luz artificial permite la iluminación permanente de espacios al interior de la vivienda, lo que ha causado alteraciones en el reloj biológico, los ciclos circadianos, las horas de alimentación, de trabajo y descanso; trastornos que son considerados también agentes de la epidemia de obesidad que afronta la sociedad (Iluminet, 2015).

Desde las primeras regulaciones urbanas en la antigua Grecia en la ciudad de Olynthus, se diseñó una trama urbano-lógica orientada de oriente a poniente, con el fin de organizar franjas y fachadas de viviendas mirando hacia al sur, para garantizar el acceso solar y mejorar la calidad del hábitat. Es importante destacar el Panteón de Adriano en Roma del año 126 d.C., ya que por su casi perfecta orientación cinco grados al N-NO, expone toda su forma arquitectónica vinculada íntimamente a la luz del sol, lo que provoca un juego de luces y sombras que para muchos historiadores marcó una nueva concepción espacial al interior (Linares, 2015).

En el presente, existen normativas y ordenanzas adaptadas a las necesidades de cada nación sobre el derecho al acceso solar o a la continua disponibilidad de luz solar directa sin obstrucciones (Contardo, Cecchi y Lara, 2017).

En una investigación a escala internacional en 10 países y 34 casos de estudio, sobre la influencia de la energía solar en la planificación urbana, se determinó que la selección de la tecnología y aceptación social en los tipos de materiales juegan un rol primordial al momento de diseñar los nuevos tejidos urbanísticos, donde radica la base del impacto ambiental, la economía local y la oferta del mercado. Se concluyó que las características funcionales formales presentaron un patrón de bordes rectos y rayas paralelas en la distribución de los módulos solares; configuración de factor de forma más idónea para la captación o protección de energía solar (Lobaccaro *et al.*, 2019). Otro estudio enfocado en la construcción de una guía metodología para el diseño de edificios solares pasivos económicos y la reducción de la utilización de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), analizó las condiciones normales de un edificio para luego realizar modificaciones en sus componentes constructivos (techo y envolvente), a fin de optimizar el aprovechamiento del microclima y de evaluar la temperatura máxima alcanzada por el edificio durante las 24 horas del día y los factores que influyen en la temperatura del ambiente interior (Marín, 2012). En una investigación destinada a comprobar el aprovechamiento de la energía solar en el Área Metropolitana de Mendoza, cuyas condiciones climatológicas son similares al objeto de estudio de este trabajo, se determinó la estrecha relación entre la morfología urbana y el acceso solar: el factor de forma y el factor de ocupación del suelo constituyen los agentes que más determinan la regulación urbana. De ello se infiere que, a mayor densidad urbana, menor disponibilidad de energía solar (Cárdenas y Vásquez, 2017).

Uno de los ejes centrales de la arquitectura bioclimática es el enfoque solar, que obliga a planificar en profundidad la apertura de los vanos, los cuales son los responsables del aporte de calor-luz (Monroy, 2006) y, en ciertas ocasiones, de la ventilación de la edificación; aspecto que, desde luego, aumenta la sensación de confort del usuario, sin la necesidad de recurrir al uso de sistemas de HVAC. En cuanto a la iluminación, para alcanzar estándares de confort se debe cumplir ciertos criterios de diseño mencionados en la Guía técnica, entre el que destaca el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios IDAE (2005): "la elección del lugar, orientación, forma y dimensiones del edificio, aprovechando las ventajas de la aportación de luz cenital" (p. 36). Por tal razón es que diseñar edificios que contemplen el uso de la luz cenital como fuente vital de iluminación, genere magnos beneficios en los usuarios, desde la regulación de la producción de melatonina, pasando por el confort visual (Ramírez y Orozco, 2015), hasta importantes ahorros energéticos (Villalba, Pattini y Córica, 2012). Por consiguiente, surge la pregunta: ¿Si se diseñan prototipos de cubiertas ligeras, combinando

el material zinc con el PVC, aumentará el nivel de iluminación y el confort térmico? Con el propósito de responder tal inquietud, se construyeron prototipos con materiales de la nueva era vernácula para zonas con climas cálidos, bajo los parámetros de sostenibilidad y protección al medio ambiente. Se busca que ellos funcionen como una base teórica para un diseño de techumbres capaz de permitir el paso de la luz solar con los menores aporte de calor, contribuyendo, de esta manera, a mejorar la habitabilidad y calidad de las viviendas de interés social.

METODOLOGÍA

El presente estudio fue llevado a cabo a través de un enfoque experimental, con un alcance descriptivo, y se inserta en la línea investigativa del confort al interior de la vivienda. Se efectuó en la región central de la Costa ecuatoriana, en la ciudad de Portoviejo, extendida en las coordenadas S1°3'16.49" O80°27'16.02" (Antipodas, 2020). La experimentación se realizó entre los meses de enero y marzo de 2021, cuando la temperatura máxima fue de 29°C y la mínima, de 23°C; la nubosidad estuvo sobre el 75%; las horas de luz fueron constantes, con un valor de 12 horas y 9 minutos; y la dirección de los vientos procedía del oeste (Tabla 1). El estudio fue dividido en 2 etapas.

ETAPA 1 (ESTUDIO DE CAMPO)

En la primera etapa metodológica, se utilizó la técnica de la observación estructurada, donde se desvelaron las características edilicias del universo geográfico (Cantón de Portoviejo) y se limitó el objeto de estudio a viviendas a un agua con cubiertas de Aluzinc. Se analizó una muestra de 308 soluciones habitacionales de la zona urbana y 89 viviendas de la zona rural. Este análisis evidenció que, en la zona urbana, el uso de material translúcido en las cubiertas (Mtc) representaba el 7,8% de la muestra y, en la zona rural, el 5,6%; lo que suma un total de 29 viviendas de las 397 analizadas.

El Cantón de Portoviejo está conformada por 9 parroquias urbanas y 7 parroquias rurales (Figura 2), donde se encuentran 70.428 viviendas, de las cuales 51.851 están ubicadas en la zona urbana y 18. 577, en la zona rural. De estas, 48.744 presentan como material de cubierta a la lámina de Aluzinc: 37.855 en la zona urbana y 10.889 en la zona rural (Tabla 2) (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2010).

FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DE LA MUESTRA

Para el cálculo de la parte del universo que reunía las características de la población, se acudió a la fórmula probabilística planteada por Flores (2014) e indicada en la ecuación 1:

Agentes / meses	Enero	Febrero	Marzo
Temperatura	Máxima de 29°C y mínima de 23°C		
Nubosidad	75%-81% nublado o mayormente nublado		
Precipitaciones	24%-54%	55%-60%	60%-40%
Horas de luz	12 horas 9 min		
Humedad	93%-99%	99%-100%	100% Kte
Viento	14,2 a 11,8 km/h	11,7 a 10,3 km/h	10,1 km/h Kte
Dirección viento	Oeste 76%	Oeste 76%	Oeste 75%
Radiación onda corta	5,6 kWh luz visible y radiación ultravioleta.		

Tabla 1. Factores externos climatológicos. Fuente: Elaborado por los autores.

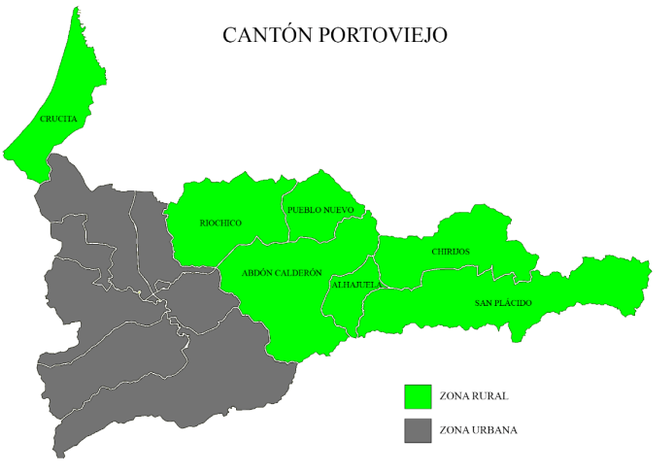

Figura 2. Mapa del Cantón Portoviejo. Fuente: Elaborado por los autores.

$$n = \frac{PQ * N}{(N-1)\frac{E^2}{K^2} + PQ} \quad (1)$$

Donde:

n: Es el tamaño de la muestra probabilística cuyo valor se busca.
N: Es el tamaño de la población total.
PQ: Es una constante de 0.25 de la varianza poblacional.
E: Es el error máximo admisible que varía de 0.01 a 0.09.
K: Es el coeficiente de corrección del error es una constante igual a 2.
(N-1): Es una constante relativa para muestras mayores a 30 (Flores, pp. 120-121).

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA DE LAS PARROQUIAS.

Para definir el número de parroquias a estudiar, se utilizó un error admisible del 1.16% de 16 parroquias, lo cual dio como resultado el 100% de estas, como se puede constatar en la ecuación 2.

$$n = \frac{PQ * N}{\frac{E^2}{K^2} + PQ} = \frac{0.25 * 16}{\frac{0.016^2}{2^2} + 0.25} = \frac{4}{0.25} = 16. \quad (2)$$

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA POR ZONAS

Zona	Orden	Cubierta de zinc (frecuencia)
Urbana	9	37.855
Rural	7	10.889
Total	16	48.744

Tabla 2. Número de viviendas por zonas. Fuente. Elaborado por los autores.

Con el objetivo de calcular el número de soluciones habitacionales a evaluar, se empleó un error admisible del 5% de 48.744 viviendas, lo que dio como resultado 397 viviendas (véase ecuación 3); luego, se procedió a calcular la muestra por cuota para las diferentes zonas (véase Tabla 3) y se realizó una muestra estratificada para la zona rural (Tabla 4), dada la dispersión geográfica de la zona rural. Para finalizar esta primera etapa, se describieron las zonas, la frecuencia, el tamaño de la muestra y el Mtc (Tabla 5).

$$n = \frac{PQ * N}{(N-1)\frac{E^2}{K^2} + PQ} = \frac{0.25 * 48.744}{(48.744-1)\frac{0.05^2}{2^2} + 0.25} = \frac{12.186}{30.71} = 397 \quad (3)$$

Zona	Orden	Frecuencia	%	Cm
Urbana	9	37.855	77.66	308
Rural	7	10.889	22.34	89
Total	16	48.744	100	397

Tabla 3. Número de viviendas a evaluar por zonas. Fuente: Elaborado por los autores.

Zona rural	Orden	Frecuencia	%	Cm	Mtc
Abdón C.	1	3.104	28.51	25	2
Alhajuela	1	807	7.41	7	0
Chirijos	1	433	3.98	4	1
Crucita	1	1.812	16.64	15	0
Pueblo N.	1	658	6.04	5	1
Riochico	1	2.626	24.12	21	1
San Plácido	1	1.449	13.31	12	0
Total	7	10.889	100	89	5

Tabla 4. Estratificación de la zona rural. Fuente: Elaborado por los autores.

Zona	Orden	Frecuencia	%	Cm	Mtc
Urbana	9	37.855	77.66	308	24
Rural	7	10.889	22.34	89	5
Total	16	48.744	100	397	29

Tabla 5. Número de viviendas que utilizan el material translúcido en las diferentes zonas del Cantón de Portoviejo. Fuente: Elaborado por los autores.

ETAPA 2 (DISEÑO DE TESTIGOS Y MODELOS DE CUBIERTAS)

Para evaluar las condiciones térmicas y lumínicas a través del estudio experimental, se construyeron 4 prototipos a escala con dimensiones 1m*1m*1m, de paredes de plywood. Las variables analizadas fueron las características de iluminación y la temperatura al interior de los prototipos. El primer modelo (A) corresponde a un modelo base, con una cubierta 100% metálica, y sirvió para evaluar las condiciones ambientales y compararlas con los otros tres prototipos. El modelo (B) fue diseñado a base de las soluciones empíricas de iluminación cenital de las 29 viviendas observadas, las cuales optaron por incorporar el material translucido a base de PVC en la parte superior central de sus moradas, en el que el PVC representó el 2% del elemento cubierta. El modelo (C) fue elaborado en PVC y representó el 10% del total de la cubierta (dos franjas centrales de 5%; una horizontal y la otra perpendicular a la trayectoria solar), formando una cruz en el centro de la cubierta. El modelo (D) fue diseñado a base de las recomendaciones de la guía técnica IDAE y los métodos de iluminación cenital de las 29 viviendas observadas, las cuales optaron por incorporar el material translucido a base de PVC en la parte lateral exterior de sus viviendas (garajes, pérgolas), en el que el PVC constituyó el 16% de la cubierta, representados en dos franjas laterales de 8%, dispuestas horizontalmente respecto a la trayectoria solar. Los prototipos fueron orientados en el eje Este - Oeste con la parte más alta de la techumbre hacia el Oeste, con una pendiente de 10%, y se posicionaron equidistantemente en el eje Norte – Sur, con una separación entre ellos de 1 m. Los parámetros medidos en ellos fueron la temperatura del aire interior (Tai) y el nivel de iluminación interior (E), para lo cual se emplearon termohigrómetros digitales, HTC-2 y dos apps digitales; lux light meter doggo apps y luxómetro: smart lux meter.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DEL PROTOTIPO A Y B

La toma de datos del prototipo A y B se registró durante 15 días del mes de enero del 2021, en 3 periodos diferentes (1-7, 10-14, 29-31), de 08:00 h a 18:00 h, en intervalos de 60 minutos. En la Figura 3 se muestran los

horas	Tai/°C		E/Lux	
	A	B	A	B
8:00	25,76	25,92	0	45,0
9:00	26,07	26,14	0	45,9
10:00	27,38	27,72	0	53,6
11:00	29,85	30,05	0	53,9
12:00	30,78	30,98	0	54,1
13:00	32,23	33,93	0	54,5
14:00	32,45	34,16	0	54,5
15:00	32,27	33,97	0	54,5
16:00	32,09	33,86	0	54,1
17:00	30,15	30,35	0	50,7
18:00	29,19	29,38	0	42,3

Figura 3. Matriz comparativa entre el prototipo A y B. Fuente: Elaborado por los autores.

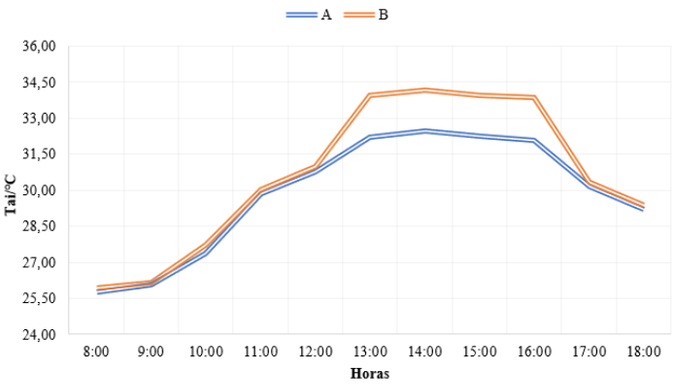

Figura 4. Curvas comparativas de la temperatura interior entre el modelo base A y el prototipo B. Fuente: Elaborado por los autores.

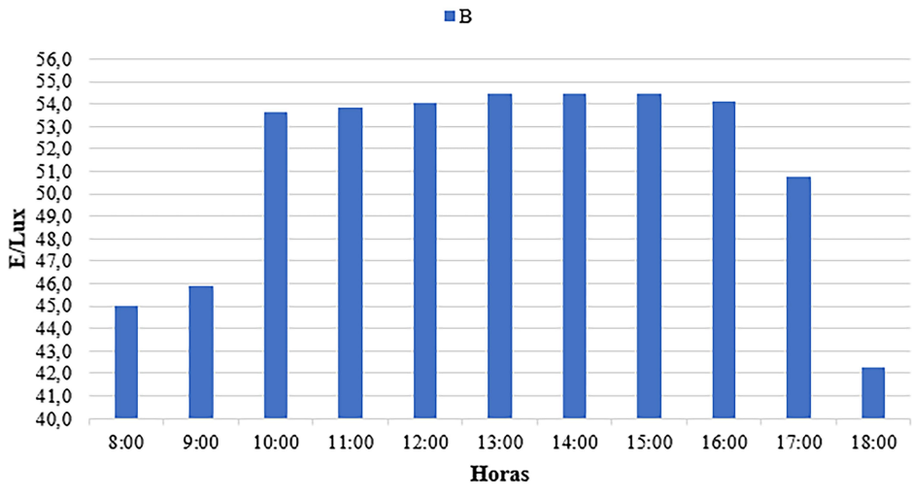

Figura 5. Niveles de iluminación interior del modelo base A y el prototipo B. Fuente: Elaborado por los autores.

resultados promedio de todas las mediciones tomadas en cada una de las horas de medición y la estructura del prototipo A y B.

De acuerdo a los resultados obtenidos del modelo base A y el prototipo B, la diferencia promedio diaria de temperatura interior entre ellos es de 0,75°C. La temperatura máxima del modelo B es de 34,16°C, registrada alrededor de las 14:00 h, la cual es 1,71°C mayor que la temperatura interior del modelo (A). La máxima diferencia de temperatura interna a las 16:00 h fue de un valor de 1,77°C (Figura 4). Por otra parte, se determinó que el valor máximo de luxes del prototipo B fue de 54,5 luxes, desde las 13 pm hasta las 3 pm aproximadamente; y, en cuanto al modelo (A), el modelo base, este presentó un valor de 0 luxes (Figura 5).

ANÁLISIS DEL PROTOTIPO A Y C

La toma de datos del prototipo A y C se efectuó durante 15 días del mes de febrero del 2021, durante 3 periodos (5-14, 19-21, 26-28), de 08:00 h a 18:00 h, en intervalos de 60 minutos. En la Figura 6 se ilustran los resultados promedio de todas las mediciones tomadas en cada una de las horas de medición y la estructura del prototipo A y C.

Conforme a los resultados obtenidos en el modelo base (A) y el prototipo C, la diferencia promedio diaria de temperatura interior entre ellos es de 1,25°C. La temperatura máxima del modelo C es de 36,57°C alrededor de las 14:00 h, la cual es 4,53°C mayor que la temperatura interior del modelo (A) (Figura 7). Asimismo, se determinó que el valor máximo de luxes del prototipo

horas	Tai/°C		E/Lux	
	A	C	A	C
8:00	25,72	25,88	0	64,6
9:00	26,16	26,32	0	67,6
10:00	27,47	28,39	0	69,9
11:00	29,95	30,15	0	70,5
12:00	30,85	31,13	0	70,5
13:00	31,96	34,35	0	71,3
14:00	32,04	36,57	0	71,2
15:00	31,77	34,18	0	70,8
16:00	31,74	33,47	0	69,7
17:00	29,91	30,26	0	69,5
18:00	28,69	29,26	0	57,9

Figura 6. Matriz comparativa entre el prototipo A y C. Fuente: Elaborado por los autores.

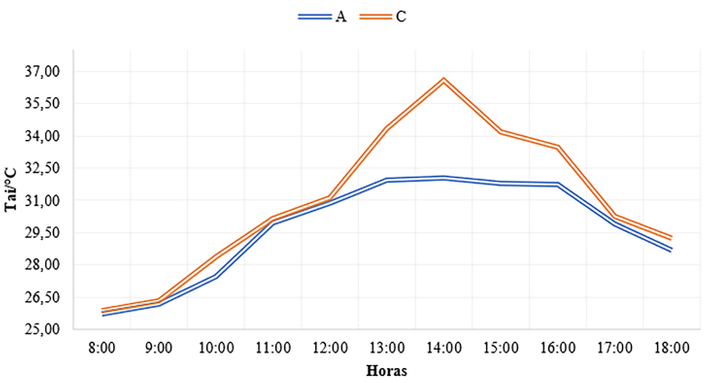

Figura 7. Curvas comparativas de la temperatura interior entre el modelo base A y el prototipo B. Fuente: Elaborado por los autores.

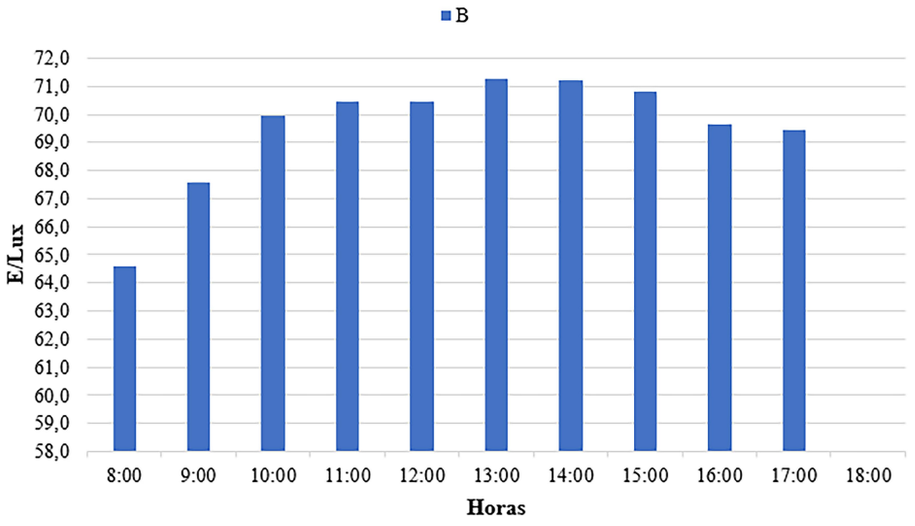

Figura 8. Niveles de iluminación interior del modelo base A y el prototipo C. Fuente: Elaborado por los autores.

C fue de 71,3 luxes, a las 13:00 h aproximadamente; y, en cuanto al modelo (A), el modelo base, este presentó un valor de 0 luxes (Figura 8).

CÁLCULO DE LAS VARIACIONES DEL PROTOTIPO A Y D

La toma de datos del prototipo A y D se llevó a cabo durante 15 días del mes de marzo de 2021, en 2 periodos diferentes (6-12, 19-26), desde las 08:00 h a las 18:00 h, en intervalos de 60 minutos. En la Figura 9 se observan los resultados promedio de todas las mediciones tomadas en cada una de las horas de medición y la estructura del prototipo A y D.

Según los resultados obtenidos a partir de la comparación entre el modelo base (A) y el prototipo D, la diferencia promedio diaria de temperatura interior entre ellos es de 1,90°C. La temperatura máxima del modelo D es de 38,26°C, registrada alrededor de las 13:00 h, la cual es 5,07°C mayor que la temperatura interior del modelo (A) (Figura 10). Se determinó, además, que el valor máximo de luxes del prototipo D fue de 118,4 luxes, a las 13:00 h aproximadamente y que el modelo (A), el modelo base, presentó un valor de 0 luxes (Figura 11).

COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Bajo este contexto de análisis, se logró determinar que, desde las 13:00 h hasta las 14:00 h, aproximadamente, se da la mayor influencia de radiación solar sobre el elemento cubierta; resultado que concuerda con el de Salgado (2012), cuya investigación determinó que, en condiciones normales, la interfase desde el mediodía necesaria para

horas	Tai/°C		E/Lux	
	A	D	A	D
8:00	25,89	26,05	0	87,4
9:00	26,43	26,59	0	90,3
10:00	28,47	30,66	0	101,7
11:00	30,46	32,25	0	103,3
12:00	31,89	35,85	0	109,3
13:00	33,19	38,26	0	118,4
14:00	34,47	37,73	0	114,3
15:00	32,17	34,45	0	114,2
16:00	31,71	33,47	0	109,7
17:00	30,01	30,27	0	104,1
18:00	28,75	29,12	0	83,2

Figura 9: Matriz comparativa entre la chapa A y D.
Fuente: Elaborado por los autores.

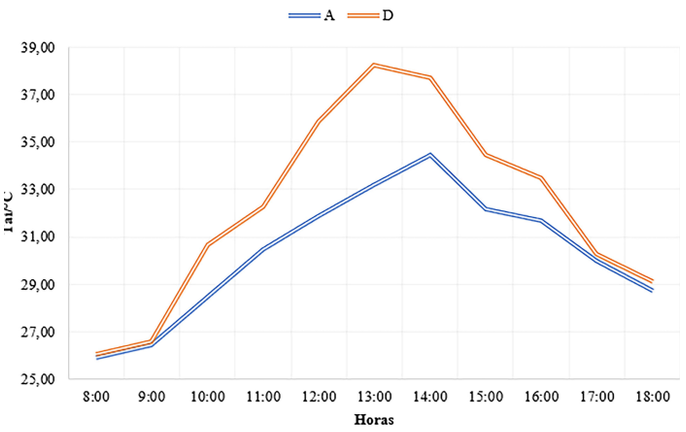

Figura 10. Curvas comparativas de la temperatura interior entre el modelo base A y el prototipo D. Fuente: Elaborado por los autores.

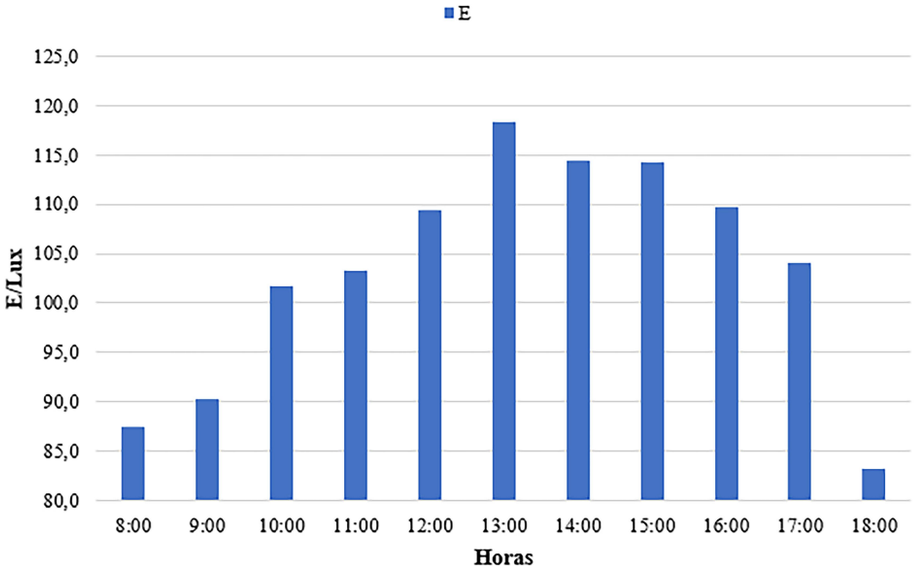

Figura 11. Niveles de iluminación interior del modelo base A y el prototipo D. Fuente: Elaborado por los autores.

que las edificaciones alcanzaran su máxima temperatura era de 1 hora, 34 minutos y 10 segundos. En base al presente estudio se destaca lo siguiente: el modelo B presenta la menor variación interna de temperatura, con un 32,63%, que contrastan con los 32,97% y los 34,40% del modelo C y D, respectivamente. Sin embargo, desde el momento en donde los modelos alcanzan la máxima temperatura, el modelo D, presenta descensos drásticos de temperatura alcanzando un relativo equilibrio a las 15:30 h aproximadamente (Figura 12), en relación con los otros prototipos. Además, este modelo presenta valores que sobrepasan los 100 lux desde las 10:00 h a las 17:00 h (Figura 13). Este fenómeno se debe a la cantidad de Mtc, (16%) con la que fue diseñado; porcentaje que supera el 10% recomendado por IDAE (2005, p. 48) y criterio corroborado por Monroy (2006) quien sostiene que los criterios de diseño planteados para ventanas verticales también se pueden adaptar para el diseño de huecos de cubierta (p. 80), especificando que la relación 1/10 es satisfactoria.

En términos cualitativos, el modelo C, diseñado estrictamente con la configuración de factor de forma a la zona ocupada del 10% y con una forma de cruz, no presenta una buena distribución de la luz interior. Lo contrario sucede con el modelo D que sí proyecta una adecuada distribución de luz al interior, al presentar dos franjas laterales y la peculiaridad de que la parte más angosta forma una perpendicular con la trayectoria solar; aspecto medible y observable que asemeja la distribución espacial de las ciudades de la antigua Grecia, famosas por una orientación que garantizaban el acceso continuo de luz solar. Esta configuración concuerda, igualmente, con Lobaccaro *et al.* (2019), quienes analizaron 34 casos de

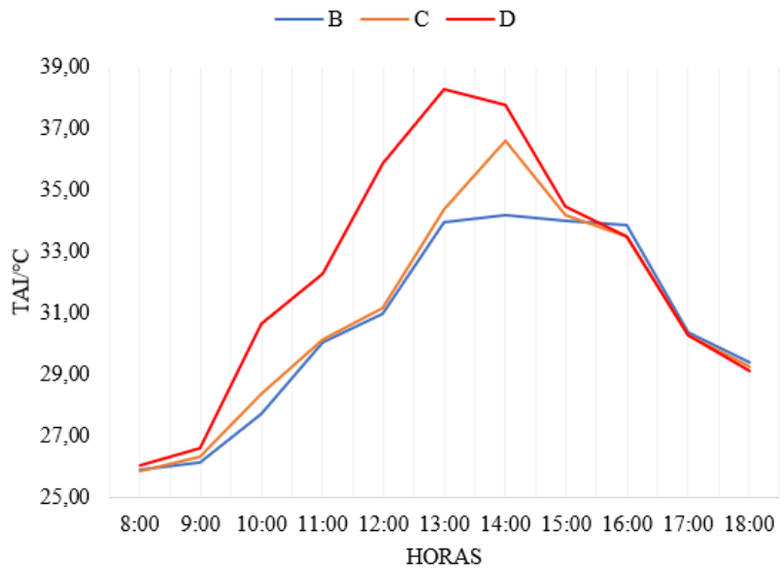

Figura 12. Temperatura al interior de los modelos B, C y D. Fuente: Elaborado por los autores.

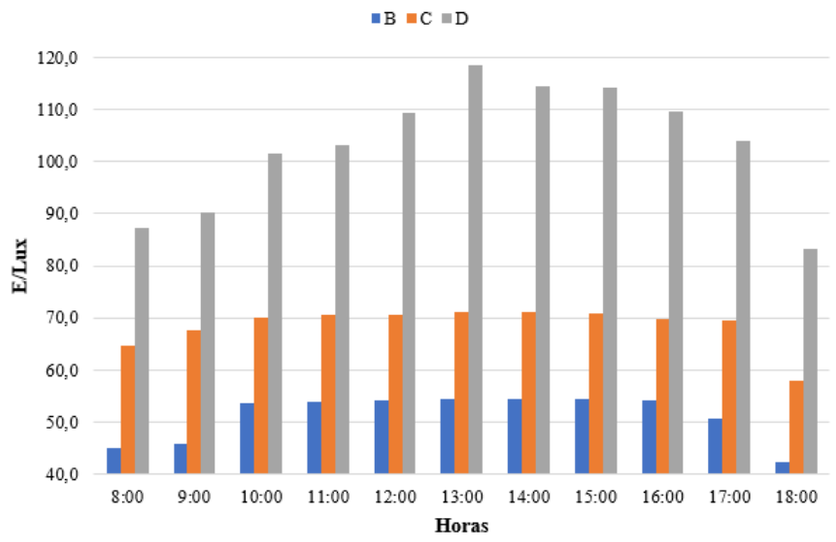

Figura 13. Niveles de iluminación al interior de los modelos B, C y D. Fuente: Elaborado por los autores.

estudios en 10 países diferentes, determinando que, en términos funcionales de factor de forma, la distribución en bordes rectos para la captación de energía solar brinda mayores resultados. En suma, a partir de los criterios mencionados y la experimentación realizada, esta configuración exhibe la mejor distribución de la luz al interior, aunque para algunos autores, como Linares (2015) el juego entre luces y sombras producido por otras opciones seguirá siendo un paradigma.

CONSIDERACIÓNES GENERALES

Al ser un país en vías de desarrollo, Ecuador no cuenta con una normativa u ordenanzas cantonales sobre el derecho al acceso solar, lo que se puede aprecia en su tejido urbanístico y, particularmente, en las 397 soluciones habitaciones observadas en esta investigación, de las cuales, solo el 13,4% utilizaban el material translúcido en las cubiertas para la captación de luz cenital. Cualitativamente, en la primera etapa del estudio, como parte de la observación sistemática, en las zonas rurales, se advirtieron viviendas extremadamente calientes y con ausencia de luz, las cuales estaban adosadas en sus retiros laterales y posteriores, lo que sumado al hacinamiento denotaba un bajo índice de habitabilidad. En referencia a las necesidades de la zona, se puede implementar la utilización del prototipo D. Asimismo, se pudo corroborar que el

material de cubierta predominante en el Cantón es el Aluzinc, que incluso es utilizado como doble cubierta.

Con respecto a la aplicabilidad de los prototipos, el modelo B se recomienda para ganancias de luz cenital puntuales. El modelo C no se recomienda y el modelo D, para viviendas que cuenten con algún tipo de protección solar y para viviendas adosadas en retiros laterales y posteriores.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se evaluaron tres alternativas de prototipos de cubiertas ligeras, con la combinación de los materiales Zinc y PVC, para zonas con climas cálidos bajo los parámetros de sostenibilidad y protección al medio ambiente. Para ello, se utilizaron estrategias pasivas de captación de iluminación cenital, tales como la orientación y la compacidad de factor de forma, implementando la estrategia del enfoque solar, lo que permite diseñar cubiertas ligeras que mejoraren el aporte de luz al interior de la vivienda sin generar espacios con sobrecalentamientos. Este proceso metodológico que se basó en mediciones de campo a partir de modelos a escala tuvo como descubrimiento más importante la determinación de la hora de mayor influencia de sol sobre las cubiertas para este tipo de zonas y la configuración que se le debe dar al Mtc, para diseñar espacios que cumplan con adecuadas características térmicas y lumínicas en pos de viviendas saludables. Una de las limitantes del proceso investigativo fue la toma de datos de luxes, por su alto índice de variabilidad en el espacio tiempo.

Lo anterior permite desechar en cierto grado la hipótesis planteada, ya que la incorporación de Mtc en la cubierta, aumenta el nivel de iluminación, pero su configuración de factor de forma no disminuye ni tampoco mantiene la temperatura al interior de los modelos ensayados. Ahora bien, los resultados del modelo D presentan descensos drásticos de temperatura desde el momento en que alcanza su clímax y, a su vez, registran la mejor distribución de luz al interior, es decir, el mejor el nivel de luxes. A modo de conclusión, es importante mencionar que surge la interrogante acerca de qué sucedería si se aplican estas estrategias constructivas en cubiertas de doble piel o en cubiertas a dos aguas. Por consiguiente, como siguiente paso de perfeccionamiento de los prototipos aquí expuestos, este estudio recomienda el análisis de la incorporación del material translúcido en cubiertas a dos aguas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Manabí y al Instituto de Posgrado-UTM - Se agradece la beca de investigación dentro de la Maestría en Ingeniería Civil Mención Construcción de Vivienda Social. Resolución: RPC-SO-10-No.130-2019 - Se agradece a la Universidad Católica de Cuenca, proyecto DAMA-215543.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alchapar, N., Correa, E. y Cantón, M. (2012). Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: Potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Ambiente Construido, 12*(3), 107-123. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000300008

Antipodas (2020). Coordenadas de Portoviejo (Ecuador). Recuperado de https://www.antipodas.net/coordenadaspais/ecuador/portoviejo.php

Balter, J., Ganem, C. y Discoli, C. (2016). Ahorros en los consumos para enfriamiento de espacios interiores mediante la evaluación de sistemas de protección solar en edificios residenciales en altura. El caso de la "ciudad-oasis" de Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable*, *6*(1), 72-83. Recuperado de http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2353

Belén, B. y López, J. (2016). *Revolución industrial*. Recuperado de https://economipedia.com/definiciones/primera-revolucion-industrial.html

Cárdenas, L. Y Vásquez, P. (2017). Potencial solar en fachadas integrando la densidad urbana: Una mirada crítica a la norma urbanística chilena. *AUS [Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad], 18*, 58-63. DOI: https://doi.org/10.4206/aus.2015.n18-10

Contardo, J., Cecchi, C. y Lara, K. (2017). Acceso Solar: Un derecho urbano para la calidad de vida vulnerado desde la Gentrificación contemporánea. El caso de la comuna de Estación Central, Chile. *Revista 180, 0*(39). DOI: http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-39.(2017).art-283

Couret, D. y Párraga, J. (2019). Evolución de la vivienda de interés social en Portoviejo. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, *12*(23). DOI: https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-23.evis

El Diario (2018). Temperatura más alta en Portoviejo. *El Diario*. EDIASA. Recuperado de https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/467707-temperatura-mas-alta-en-portoviejo/

El Universo (2020). Se registran altas temperaturas en Guayas y Manabí, este es el pronóstico para el viernes 30 de octubre. *El Universo*. Recuperado de https://www.eluniverso.com/noticias/2020/10/29/nota/8031442/inamhi-pronostico-tiempo-ecuador-30-octubre-ecuador-radiacion

Flores, C. (2014). *Introducción a la Estadística*. Manta: Mar Abierto.

Garnica, A. (2020). Efecto en la temperatura para mitigar la Isla de Calor utilizando dos ecotecnias. *Meio Ambiente (Brasil)*, *2*(5). Recuperado de http://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/92

Hernández-Salomón, M., Rizo-Aguilera, L. y Frómeta-Salas, Z. (2017). Recomendaciones de diseño con enfoque medioambiental para cubiertas ligeras en edificaciones del centro histórico de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC,* (1), 70-88. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181351125006

IDAE (2005). *Guía técnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Recuperado de https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-aprovechamiento-de-la-luz-natural-en-la-iluminacion-de-edificios

Iluminet (2015). El equilibrio entre luz artificial y natural puede ser una clave contra la obesidad. *Iluminet. Revista de iluminación*. Recuperado de https://www.iluminet.com/iluminacion-artificial-obesidad/

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2010). *Población y Demografía*. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] (2014). *Análisis Climatológicos*. Recuperado de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/bolhist/cli/2014/MENSUAL/bol_jul_2014.pdf

Izzo, G. (2017). *Perspectiva de la energía nuclear en la futura matriz energética*. Tesis de magíster. Universidad Nacional de La Plata. DOI: https://doi.org/10.35537/10915/61231

Linares, T. (2015). Further observations on the light in the Pantheon in Rome. *VLC arquitectura. Research Journal*, *2*(1), 33-55. DOI: https://doi.org/10.4995/vlc.2015.3376

Lobaccaro, G., Croce, S., Lindkvist, C., Probst, M., Scognamiglio, A., Dahlberg, J., Lundgren, M. y Wall, M. (2019). A cross-country perspective on solar energy in urban planning: Lessons learned from international case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *108*, 209-237. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.041

Macías, A. (2018). Análisis de los Factores Endógenos y Exógenos Higrotérmicos del Sector los Bosques Cantón Portoviejo y Propuesta de Solución. Tesis de doctorado. Universidad laica "Eloy Alfaro" de Manabí. Recuperado de https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/2330

Marín, F. (2012). Evaluación del rendimiento de calefacción o refrescamiento producido por los elementos constructivos y microclima de una vivienda pasiva. Una forma de integrar el rendimiento del confort térmico pasivo a su administración del ciclo de vida de un edificio. *Revista INVI*, *27*(75), 171-197. Recuperado de https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62339/66418

Monroy, M. (2006). *Manuales de Diseño ICARO*. [Manual-1-ILUMINACION]. Recuperado de https://m2db.wordpress.com/2014/09/01/manuales-de-diseno-icaro/

Oster, L. (2021). *Astronomía moderna*. Recuperado de https://books.google.es/books?id=xpAXEAAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Osuna-Motta, I., Herrera-Cáceres, C. y López-Bernal, O. (2017). Techo plantado como dispositivo de climatización pasiva en el trópico. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, *19*(1), 42-55. DOI: https://doi.org/10.14718/RevArq.2017.19.1.1109

Plasticseurope (2021). *Tipos de plásticos*. Recuperado de https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/large-family

Ramírez, A. y Orozco, A. (2015). La envolvente arquitectónica y su influencia en la iluminación natural. *Hábitat Sustentable*, *5*(1), 44-53. Recuperado de http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/1811

Rodríguez, S. (2017). *Diseño y evaluación de un sistema de doble cubierta ventilada para reducir la transmisión de calor al interior de la vivienda media en Puerto Vallarta, Jalisco*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, México. Recuperado de http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/5944

Rojas, J., Soto, P. y Díaz, H. (2020). Evaluación dinámica de control solar lumínico. Propuestas en una biblioteca de arquitectura moderna en Santiago. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, *9*(18), 125-137. DOI: https://doi.org/10.18537/est.v009.n018.a11

Sisternes, Á. (2019). Diseño pasivo: Concepto, ventajas y desventajas. *Kömmerling*. Recuperado de https://retokommerling.com/diseno-pasivo/

Torres, B., Viñachi, J., Cusquillo, J., Pazmiño, C. y Segarra, M. (2019). Aprovechamiento de la arquitectura pasiva para la reducción de carga térmica por ganancia solar en un edificio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Guayaquil. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, *5*(0), 378-388. DOI: https://doi.org/10.30972/eitt.503775

Torres, J., Coch, H. y Isalgué, A. (2019). Assessment of the reflectivity and emissivity impact on light metal roofs thermal behaviour, in warm and humid climate. *Energy and Buildings*, *188-189*, 200-208. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.022

Véliz-Párraga, J. y González-Couret, D. (2019). Vivienda de interés social en Portoviejo. ambiente térmico interior. *AUS [Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad]*, (26), 35-41. DOI: https://doi.org/10.4206/aus.2019.n26-07

Villalba, A., Pattini, A. y Córica, M. (2012). Análisis de las características morfológicas de las envolventes edilicias y del entorno urbano desde la perspectiva de la iluminación natural. *Ambiente Construido*, *12*(4), 159-175. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000400011

Yépez, K. (2018). 10 beneficios de tomar el sol para nuestra salud. *Elsevier Connect*. Recuperado de https://www.elsevier.com/es-es/connect/ciencia/beneficios-salud-del-sol

CC BY SA

Recibido 31/08/2021
Aceptado 09/12/2021

SIMULACIÓN MEDIANTE CDF DE UNA CHIMENEA SOLAR INCLINADA SOBRE LA CUBIERTA

CFD SIMULATION OF AN INCLINED ROOF SOLAR CHIMNEY

SANDRA RODRÍGUEZ-TREJO
Magíster en Diseño Bioclimático
Estudiante doctoral, Posgrado en Diseño Bioclimático,
Dpto. de Medio Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco
Ciudad de México, México
https://orcid.org/0000-0002-6139-4985
sandraelisar@gmail.com

VÍCTOR FUENTES-FREIXANET
Doctorado en Diseño, Arquitectura Bioclimática
Académico Investigador,
Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco
Ciudad de México, México
https://orcid.org/0000-0002-7426-2391
ffva@azc.uam.mx

RESUMEN

En los últimos años se ha elevado el consumo energético derivado del uso de aparatos eléctricos para promover el movimiento de aire en regiones con climas cálidos, lo que ha traído como consecuencia un impacto negativo en el ambiente. En este trabajo se evalúa el desempeño de una chimenea solar utilizada para inducir la ventilación natural en un espacio cerrado, bajo las condiciones del clima cálido mexicano. Para tal efecto, se desarrollaron simulaciones CFD empleando el modelo de turbulencia RNG k- e y el modelo de radiación DO, y considerando únicamente los fenómenos de convección natural. El desempeño de la chimenea solar se evaluó comparando los resultados de las simulaciones con mediciones experimentales; análisis que reveló una buena concordancia. Se obtuvieron temperaturas de hasta 46.5°C en el aire dentro de la chimenea y de 77.1°C en la placa de absorción; resultados que permiten verificar la influencia del fenómeno de descarga de calor por flotación natural del aire en la chimenea.

Palabras clave
energía solar, ventilación, simulación CFD

ABSTRACT

In recent years, energy consumption from electrical devices to foster air movement in regions with warm climates has risen, with the resulting negative impact on the environment. The purpose of this paper is to evaluate the performance of a solar chimney used to induce natural ventilation in a closed space, under the weather conditions of the hot humid Mexican climate. For this purpose, CFD simulations were run using the RNG k- e turbulence model and the DO radiation model, considering only natural convection phenomena. The solar chimney performance was evaluated, comparing the results of the simulations with experimental measurements, analysis which showed a good match. Temperatures of up to 46.5%°C in the air within the chimney, and of 77.1°C on the absorption plate, were obtained, results that allow verifying the influence of the heat discharge phenomenon by the natural flotation of air in the chimney.

Keywords
solar energy, ventilation, CFD simulation

INTRODUCCIÓN

Cerca del 30% del consumo eléctrico del sector residencial de México se utiliza para lograr el confort térmico en zonas de clima cálido (González y Beele, 2016), proporción que sigue aumentando notablemente en la medida en que también lo hace el uso de equipos de climatización de aire en los últimos años. La cantidad de energía eléctrica que se emplea para climatización artificial en climas cálidos depende de varios factores, específicamente del diseño y los elementos de la envolvente del espacio, como también de los equipos que proveen los tres elementos que determinan el confort térmico: temperatura, humedad y velocidad del aire (de Buen, 2017).

Los resultados de la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2018) muestran que en el país se contabilizan 14.6 millones de ventiladores. Los de uso más común en las viviendas, aquellos conocidos como de techo y pedestal, registran 11.5 millones, presentando además un uso preponderante: en el 34.4% de las viviendas se utilizan entre 5 y 9 horas al día.

Estos datos proporcionan una perspectiva general del consumo energético que origina el uso de dispositivos para promover el movimiento de aire en climas cálidos, y su consiguiente impacto económico y ambiental. De ello se deriva la importancia de la implementación de estrategias pasivas de climatización para favorecer la ventilación natural y proveer confort térmico.

La ventilación natural en los edificios es originada por dos causas: por presiones debidas al viento (ventilación cruzada) y por diferencia de temperatura, por lo tanto, de densidad del aire, entre el exterior y el interior (efecto Stack). En climas cálido-húmedos, la ventilación por efecto Stack es ineficiente ya que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de los edificios ventilados naturalmente, es poca. En este contexto, las chimeneas solares representan una alternativa eficiente para promover la ventilación natural, gracias a su capacidad de aprovechamiento del recurso solar para calentar una parte de la edificación propiciando la extracción de aire cálido por efecto convectivo.

Una chimenea solar es básicamente un calefactor de aire solar que se incrusta vertical u horizontalmente a una edificación como parte de una pared o techo, y cuya clasificación puede variar según diferentes configuraciones o funciones (Lal, Kaushik y Bhargav, 2013). Se pueden encontrar distintas variaciones en el diseño de las chimeneas solares influenciadas por una serie de factores, tales como la ubicación, el clima, la orientación, el tamaño del espacio a ventilar y las ganancias de calor internas. Sin embargo, los elementos básicos que las conforman como el colector solar, la cubierta transparente y las aberturas de entrada y salida forman parte de cada diseño (Khanal y Lei, 2011).

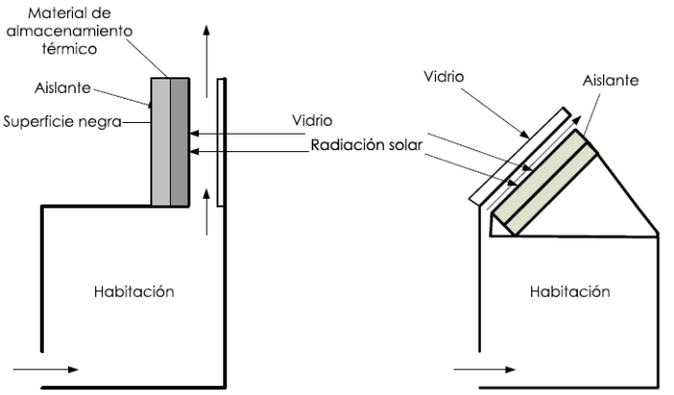

Figura 1. Configuraciones de chimenea solar. Fuente: Harris y Helwig (2007, p. 136).

CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DE LAS CHIMENEAS SOLARES EN CUBIERTA

Para promover la ventilación natural, las chimeneas solares inclinadas sobre la cubierta o el techo funcionan con los mismos principios que las chimeneas verticales, es decir, se asisten del efecto de succión en las aberturas situadas en la parte baja de la chimenea y del aire caliente que se extrae a través de las aberturas superiores del canal (Figura 1). Generalmente, las chimeneas solares se componen de una cubierta transparente y una placa de absorción o de almacenamiento térmico separadas por una cavidad o canal de aire; en la parte trasera de la placa se dispone una capa de aislamiento para evitar pérdidas de calor.

En la mayoría de los casos, la cubierta transparente de la chimenea solar es de vidrio, que es un material transparente a la radiación de onda corta; una parte de la radiación solar incidente en la superficie del vidrio se transmite directamente al ambiente interno, otra se refleja hacia el exterior y una tercera parte es absorbida por el material. Como el vidrio tiene baja absorción y está expuesto a los intercambios de calor por convección en sus dos caras, su temperatura superficial es siempre cercana a la del aire con el que está en contacto.

La placa de absorción es comúnmente de material metálico con altos valores de emisividad y absortancia, y se calienta por absorción de la porción de radiación solar transmitida por el vidrio. Una parte de este calor puede perderse por conducción hacia el lado externo de la placa, donde hay aislamiento térmico, y otra parte es cedida al aire en la cavidad por convección térmica y al vidrio, por radiación infrarroja. De esta forma, con el aumento de temperatura del aire presente en la cavidad de la chimenea, que es calentado por la placa absorbente y el vidrio, se genera el movimiento ascendente del aire hacia la abertura superior.

La estrategia de integrar las chimeneas solares a lo largo de la pendiente del techo o cubierta de las edificaciones permite obtener grandes áreas para colectar irradiancia

solar y aprovecharla cuando el sol está a mayor altitud. Algunas desventajas de estos sistemas son que la altura efectiva está restringida por el ángulo de inclinación del techo y la posibilidad de mayores pérdidas de presión debido a los cambios de dirección adicionales en el recorrido del aire (Harris y Helwig, 2007).

INVESTIGACIONES PREVIAS

A partir de los años 90 se ha realizado una cantidad significativa de investigaciones, a través de métodos experimentales, analíticos y computacionales, enfocada sobre todo en encontrar las soluciones de diseño óptimas para mejorar la ventilación natural utilizando chimeneas solares. De acuerdo con Shi *et al.* (2018), el desempeño de estos sistemas se basa principalmente en ocho factores: ángulo de inclinación, ancho de cavidad, altura, relación dimensional entre altura/cavidad, área de abertura de entrada, área de abertura de salida, relación entrada/salida y radiación solar. Zhang, Tan, Yang y Zhang (2016) mencionan, además, las características térmicas del material de absorción de la radiación solar.

El ángulo de inclinación de las chimeneas solares es uno de los parámetros más analizados. Varias investigaciones reportan que una inclinación de 45° es óptima para obtener un máximo flujo de aire (Chen *et al.*, 2003; J. Mathur, Bansal, S. Mathur, Jain y Anupma, 2006; Bassiouny y Korah, 2009; Saifi, Settou, Dokkar, Negrou y Chennouf, 2012; Jianliu y Weihua, 2013; Al-Kayiem, Sreejaya y Gilani, 2014; Saleem, Bady, Ookawara y Abdel-Rahm, 2016; Dhahri y Aouinet, 2020; Kong, Niu y Lei, 2020), inclinación que genera pocas pérdidas de presión, pues representa un equilibrio entre la presión *stack* y la transferencia de calor por convección (Yusoff, Salleh, Adam, Sapian y Sulaiman, 2010; Mahdavinejad, Fakhari y Alipoor, 2013).

Las recomendaciones para el dimensionamiento del espesor de cavidad varían entre los 0.10 m a los 0.35 m. Diversos estudios concuerdan en que el flujo de aire disminuye con el aumento del espesor de la cavidad por la presencia de flujo inverso. En investigaciones realizadas por Shi *et al*. (2016), Saifi *et al*. (2012), Yusoff *et al*. (2010) y Zhai, Dai y Wang (2005) no se registran flujos inversos en cavidades de 0.20 m. Bouchair (1994), Li, Jones, Zhao y Wang (2004) y Liping y Angui (2004), por su parte, reportan como óptima la relación 1:10 entre el ancho de cavidad y la altura efectiva de la chimenea.

Los trabajos realizados sobre el aumento en la longitud de la chimenea solar han mostrado menor impacto de esta característica geométrica en el desempeño de las chimeneas en comparación con el aumento en el espesor de la cavidad. El rango de longitudes de chimenea analizadas en investigaciones previas va de los 0.40 m hasta los 3.00 m. En tal sentido, Neves (2012) sostiene que después de los 1.50 m las variaciones en la longitud resultan en incrementos progresivamente menores en el flujo de aire.

En general, el rango de las variables de configuración analizadas en los estudios previos es limitado: se centran principalmente en la anchura de la cavidad y el ángulo de inclinación. Los valores óptimos sugeridos no son aplicables a todas las configuraciones de chimenea solar ya que presentan relaciones de dependencia recíproca entre dos o más variables, por lo que es necesario llevar a cabo más investigaciones a fin de evaluar su desempeño bajo diferentes contextos.

DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés) es una rama de la mecánica de fluidos que utiliza estructuras de datos y métodos numéricos para resolver y analizar las ecuaciones que gobiernan el flujo de fluidos y permite conocer cuantitativa y cualitativamente el comportamiento de los mismos.

La simulación CFD es uno de los métodos más importantes para el estudio de la ventilación natural y puede ser empleada para predecir el flujo de aire y la transferencia de calor al interior y exterior de las edificaciones. Los modelos CFD son capaces de proporcionar una distribución espacial detallada de la temperatura, presión, velocidad y turbulencia del aire (Sánchez, 2017).

Una de las técnicas numéricas más utilizadas para discretizar las ecuaciones que describen el movimiento de los fluidos (Navier-Stokes) es el método de los volúmenes finitos, cuyo punto de partida es la descomposición del dominio a analizar en un número finito de volúmenes de control contiguos, donde las variables son calculadas en los nodos localizados en el centroide de cada volumen de control. Los volúmenes de control y los nodos son definidos con una malla numérica, que es esencialmente una representación discreta del dominio en el cual el problema es resuelto.

En el siguiente apartado se presenta la descripción del modelo de simulación CFD utilizado en esta investigación para analizar el flujo de aire a través de una chimenea solar. Cabe mencionar que las condiciones de borde fueron determinadas con base en resultados experimentales obtenidos del monitoreo en campo de un modelo físico a escala real.

METODOLOGÍA

El trabajo aquí expuesto tiene un enfoque cuantitativo (se vale de herramientas matemáticas, estadísticas e informáticas). Se optó, asimismo, por efectuar un estudio experimental y un análisis numérico para la recolección y el análisis de datos, buscando relaciones causales entre las variables medidas. Se ha seguido el método científico analítico en cuanto al análisis de los resultados de la simulación y la comparación de resultados numéricos y experimentales.

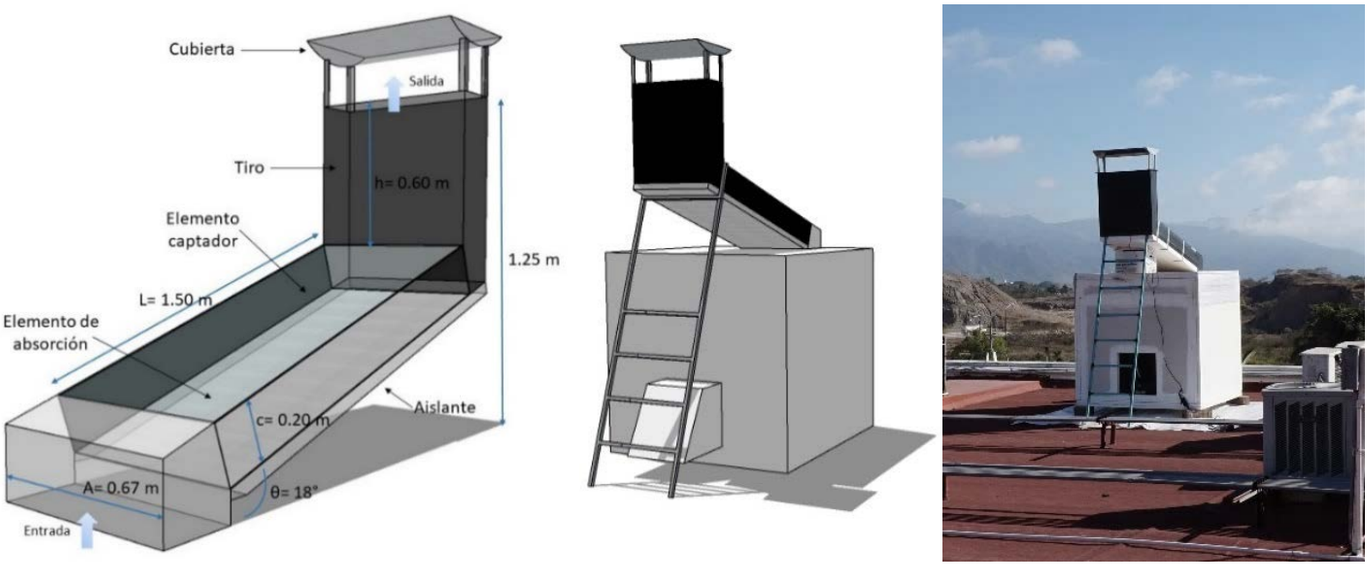

Figura 2. Características del modelo experimental. Fuente: Elaboración de autores.

El diseño de la investigación parte de dos fases fundamentales, la primera de ellas es el diseño de la chimenea solar a partir del análisis de la bibliografía existente y la determinación de los periodos de experimentación y las características constructivas del prototipo experimental. La segunda fase consistió en la aplicación de la técnica CFD para la simulación del sistema, de modo de validar, posteriormente, el modelo CFD utilizado a partir de los resultados experimentales y verificar si se ha encontrado una solución coherente para el problema.

ESTUDIO EXPERIMENTAL

El estudio experimental se realizó bajo las condiciones del clima de la ciudad de Puerto Vallarta, México, con coordenadas 20° 42' Norte y 105° 13' Oeste, a 10.0 msnm. Las variables climáticas, incluida la temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad y dirección del viento e irradiancia global, fueron adquiridas de una estación meteorológica automática.

Se diseñó la configuración geométrica de la chimenea solar a analizar, estableciendo una inclinación de 18° hacia el Sur para obtener adecuadas condiciones de irradiancia solar durante todo el año en la latitud del estudio. Se construyó un colector de lámina de acero galvanizado calibre 22 color negro mate, de 1.50 m de largo, 0.67 m de ancho y 0.20 m de espesor de cavidad. Para compensar la pérdida de presión ocasionada por el ángulo de inclinación bajo, se colocó una extensión vertical, llamado tiro o *stack*, de 0.60 m acoplado al colector.

El espacio a ventilar consistió en una cámara cúbica de paneles de yeso de 1.50 m por lado, en la cual se dispuso una abertura cuadrada de 0.50 m por lado, en la parte inferior de la cara vertical opuesta a la entrada del colector, a una distancia de 0.15 m de la base. Como elemento captador de la radiación solar, se usó una cubierta de vidrio claro simple de 4 mm de espesor y una lámina lisa de aluminio de 2.0 mm de espesor color negro mate, como elemento de absorción, aislada en su cara inferior con una placa de poliestireno de 5 cm de espesor. Las características del modelo experimental se presentan en la Figura 2.

Se colocaron sensores en la entrada y al interior de la cámara, al interior del colector, en la superficie de la placa de absorción y en la salida del tiro. Las variables a monitorear fueron:

- Velocidad del aire en la entrada de la cámara.
- Temperatura al interior de la cámara, temperatura de la placa.
- Temperatura del aire interior de la cavidad.
- Velocidad del aire en la entrada del colector.
- Velocidad en la salida del tiro.

Se registraron datos cada 5 minutos durante tres días en distintos meses a lo largo del año y, seguidamente, se calcularon promedios horarios y se realizaron análisis estadísticos para determinar los datos a utilizar en las simulaciones.

SIMULACIÓN CFD

La metodología utilizada para ejecutar simulaciones en la mayoría de los códigos CFD contiene tres etapas principales: pre-procesamiento, solución y post-procesamiento. A su vez, cada una de las etapas consta de las siguientes actividades:

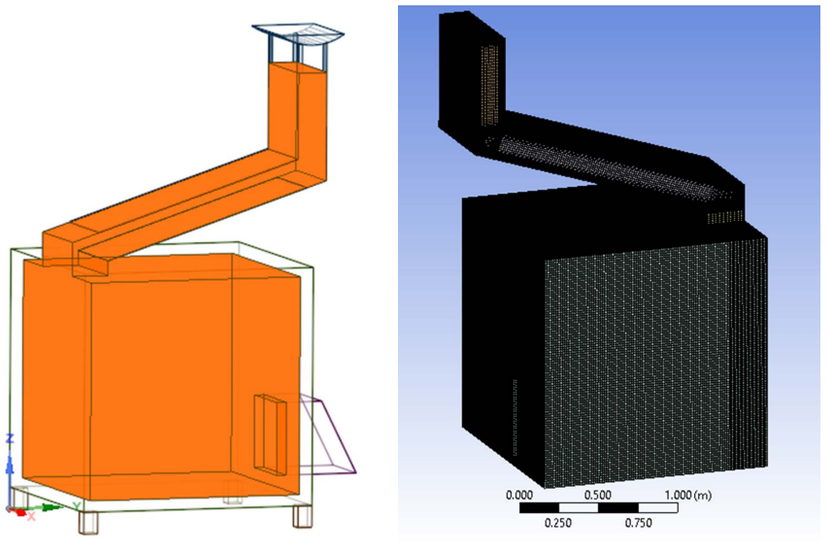

Figura 3. Modelo tridimensional y malla de análisis. Fuente: Elaboración de autores.

Pre-procesamiento:

- Elección del modelo de cálculo adecuado para resolver el problema específico y determinar el objetivo de la simulación.
- Definición de la geometría que representa el problema.
- Generación de una malla adecuada, considerando sus dimensiones y topología, así como la independencia de los resultados de la malla utilizada.
- Establecimiento de las propiedades de los fluidos.

Procesamiento o solución:

- Determinación de las condiciones de borde, tales como temperatura de las superficies, flujo de calor, entradas y salidas del fluido, fuentes y sumideros de calor, humedad, etc.
- Definición de los algoritmos de solución.
- Selección del modelo de turbulencia adecuado.
- Precisión de los parámetros numéricos como esquemas de diferenciación, factores de relajación, número de iteraciones, criterios de convergencia, etc.

Post-procesamiento:

- Obtención de datos, gráficos, vectores, líneas de flujo, contornos, etc. de las variables de interés.
- Validación del modelo comparando resultados con datos de experimentales u otros resultados numéricos.

Para el desarrollo del modelo y el análisis numérico se empleó el software comercial ANSYS Fluent. Con el objetivo de llevar a cabo las simulaciones de la chimenea solar, se seleccionó un modelo en tres dimensiones (Figura 3) con flujo en estado estacionario, contemplando únicamente los fenómenos de convección natural. En función de simular el flujo de aire a través del modelo, se ajustaron los parámetros a fin de obtener las mismas condiciones de la prueba experimental, considerando un flujo de aire turbulento, incompresible y estacionario.

Dada la configuración del modelo físico experimental de la chimenea solar, se optó por utilizar una malla estructurada conformada por hexaedros, cuyas dimensiones se configuraron acorde a las dimensiones de la chimenea procurando que su forma cumpliera los requisitos para que los cálculos numéricos fueran estables y exactos: alta calidad ortogonal y baja oblicuidad de los elementos. Se refinó la malla en las zonas de interés como la cubierta de vidrio, la placa de aluminio y la entrada y salida del aire. Con el proceso de mallado se obtuvieron 7 mallas, con un número de elementos entre 660 711 y 2 376 021, las cuales fueron configuradas y probadas para determinar el número de elementos adecuado para el modelo, permitiendo reducir costos computacionales sin perder calidad de la información. Se eligió para su análisis una malla conformada por 1 633 428 elementos.

Se activó la ecuación de Energía para habilitar el cálculo de los parámetros relacionados con la transferencia de calor y la variación de la densidad; también se activó el modelo de Viscosidad con el modelo de turbulencia RNG $k-e$, el cual es descrito como estable, dado que proporciona resultados razonablemente precisos para la mayoría de los flujos de aire interiores (Rodrigues, Frick, Bejat y Garrecht, 2021). Se eligió el modelo de radiación de Ordenadas Discretas (DO) que permite simular la radiación a través de medios semitransparentes, así como problemas de radiación con medios no participantes (como el aire) en los que la radiación influye indirectamente en el campo de flujo cambiando las condiciones de contorno en las superficies. De igual manera, se seleccionó el Método Semi-Implícito de Ecuaciones Ligadas para la Presión (SIMPLE) como algoritmo acoplamiento de la presión y velocidad.

Por último, se estableció como criterio de convergencia el valor de residuo de 10^{-6} para la ecuación de energía y de 10^{-3} para las demás variables de acuerdo con lo sugerido

Material	Densidad ρ	Calor específico Cp	Conductividad térmica λ	Absortancia	Emisividad
	kg/m3	J/kg·K	W/m·K	α	E
Vidrio	2500	750	1.40	0.14	0.85
Aluminio	2719	871	202.40	0.97	0.98

Tabla 1. Propiedades termo-físicas y ópticas de los materiales. Fuente: Elaboración de autores.

en el manual de usuario de ANSYS.

El sistema opera a presión atmosférica a nivel del mar, por lo que se mantuvo el valor por defecto de 101325 Pa. La temperatura operativa corresponde a la temperatura ambiente registrada durante los distintos periodos de experimentación. Para todos los casos a simular se consideró que el aire ingresa a la cámara de forma perpendicular a la abertura de entrada a una velocidad constante de 0.15 m/s y se introdujeron valores de temperatura obtenidos durante la prueba experimental. La Tabla 1 exhibe las propiedades físicas de los materiales de los elementos que forman el modelo y que participan en el intercambio de energía.

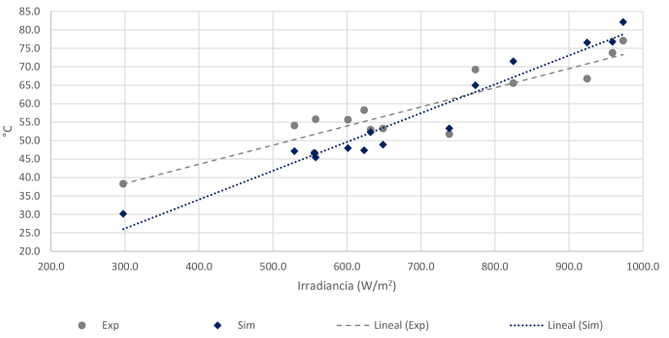

Figura 4. Temperatura de la placa de aluminio. Fuente: Elaboración de autores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de los resultados se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) con el propósito de establecer similitudes entre las variables simuladas y los resultados experimentales. La Figura 4 muestra la dispersión de los datos de la temperatura de la placa obtenidos tanto en el monitoreo experimental como en las simulaciones. El coeficiente de correlación lineal entre las series de datos es igual a 0.93, lo que revela que existe una alta correlación positiva. La correlación entre la irradiancia y la temperatura de la placa obtenida en las simulaciones es de r=0.97, mientras que con los resultados experimentales es r=0.91.

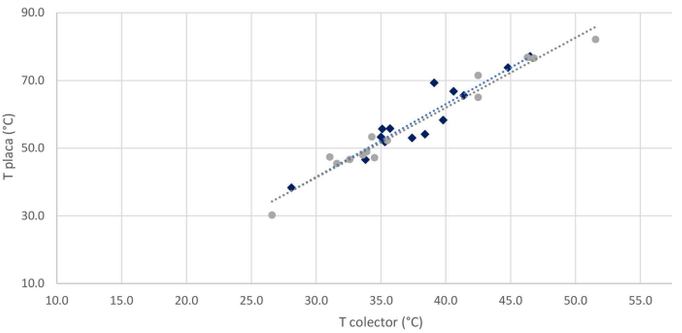

Figura 5. Correlación entre la temperatura del aire y la temperatura de la placa.

La temperatura del aire dentro del colector de la chimenea está directamente relacionada con la temperatura de la placa, debido a la transferencia de calor por convección (Figura 5); el coeficiente de correlación entre estas variables en las mediciones experimentales es de r=0.94 y en las simulaciones es de r=0.98, lo que indica una alta correlación positiva.

En un análisis de dispersión de los datos de la temperatura del aire dentro del colector, se observa que la temperatura obtenida en las simulaciones es mayor a los datos experimentales cuando las condiciones de irradiancia son superiores a los 750 W/m^2 (Figura 6). El coeficiente de correlación entre ambas series de datos (experimentales y simulaciones) de temperatura del colector es de r=0.87.

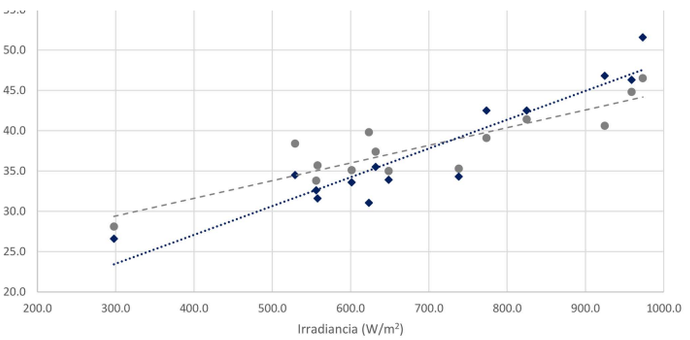

Figura 6. Correlación entre la temperatura del aire y la irradiancia. Fuente: Elaboración de autores.

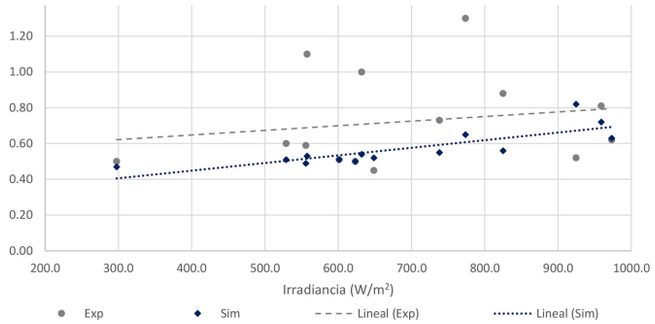

Figura 7. Correlación entre la temperatura del aire y la irradiancia. Fuente: Elaboración de autores.

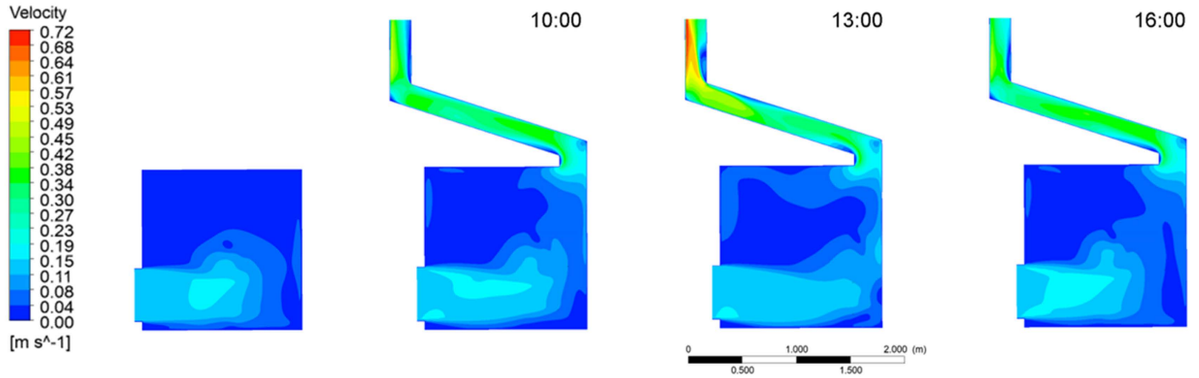

Figura 8. Contornos de velocidad del aire en el plano medio del modelo. Fuente: Elaboración de autores.

Los resultados del comparativo de las velocidades en la salida del tiro entre las mediciones experimentales y las simulaciones bajo diferentes condiciones de irradiancia, se exponen en la Figura 7, donde es notoria la diferencia entre resultados, el coeficiente de correlación entre las mediciones experimentales y los resultados de las simulaciones es de r=0.23.

Lo anterior se explica porque el modelo CFD no contempla la influencia del viento que, según lo constatado en las mediciones experimentales, tiene un efecto positivo en la velocidad del aire en la salida del tiro.

La velocidad del aire interior es otra variable considerada al evaluar la ventilación natural, el aumento del movimiento del aire tiene el potencial de cambiar la aceptabilidad térmica a valores de temperatura operativa más altos (Saadatjoo, Mahdavinejad y Zhang, 2018). Para analizar esta variable se obtuvieron contornos de velocidad en el plano medio del modelo. La Figura 8 ilustra los contornos generados por la simulación realizada con los datos experimentales del mes de octubre, mes con mayor cantidad de irradiancia solar disponible dentro del periodo más cálido en la zona de estudio, que corresponde a un promedio de irradiancia mensual de 363 W/m^2 y una temperatura media de 27.6°C.

Se pueden advertir los cambios en la distribución de la velocidad del aire en tres momentos del día. Tras comparar la información obtenida con una simulación de control (la cámara sin chimenea y sin abertura de salida), se evidencia una mejor circulación del aire a las 13:00 h, cerca del mediodía solar.

CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación demuestran que es factible utilizar una extensión vertical en las chimeneas inclinadas para compensar la pérdida de presión ocasionada por la reducción del ángulo de inclinación, y optimizar así las ganancias solares. Una menor inclinación facilitaría la incorporación del sistema a cubiertas con pendientes no mayores al 20%, como es el caso de la mayoría de las construcciones para uso habitacional en la zona de estudio.

Los datos obtenidos en las simulaciones mostraron una buena concordancia con las mediciones experimentales: el modelo CFD fue capaz de predecir apropiadamente las temperaturas de placa de absorción, con un coeficiente de correlación r=0.93 con los resultados experimentales. Las

temperaturas dentro del colector también mostraron una alta correlación positiva con las medidas experimentales (r=0.87).

Con las simulaciones CFD es posible verificar la importancia que el fenómeno de descarga de calor por flotación natural del aire caliente tiene en este sistema, tanto para los resultados experimentales como para los obtenidos por simulación: se observó, en efecto, una fuerte correlación de la irradiancia con el caudal de aire de la chimenea. El análisis CFD permitió el estudio de los patrones de flujo de aire dentro de la chimenea mediante la visualización de contornos velocidad.

Luego de comparar los resultados CFD con los resultados experimentales se ha llegado a la conclusión de que el modelo computacional describe apropiadamente el comportamiento termo-fluidodinámico de la chimenea solar, utilizando el modelo turbulento k-e RNG complementado con el modelo de radiación Discrete Ordinates.

Las temporadas y horas del día en las que la ventilación natural es más necesaria como estrategia de confort térmico en la zona de estudio, coinciden con las condiciones favorables para proveer mayores tasas de flujo de aire, lo que constata la ventaja del uso de esta configuración de chimenea para la ventilación natural en regiones de baja latitud con clima cálido-húmedo. Se considera que con el uso de chimeneas solares es posible mejorar la ventilación sin gastos económicos y energéticos, puesto que el sistema no necesita consumo de energía convencional y no genera gastos de operación ni mantenimiento.

Las predicciones de la velocidad, temperatura, humedad, concentración de contaminantes, patrones de flujo y tasas de cambio de aire en las edificaciones, son requeridas para el diseño de ambientes interiores saludables y confortables. El enfoque propuesto en esta investigación contribuye al uso práctico del método CFD en el diseño arquitectónico, proporcionando información detallada sobre el modelo numérico utilizado. Los resultados satisfactorios de estas simulaciones permiten concluir que es posible simular y estudiar casos tridimensionales en estado estacionario de una forma asequible y sencilla.

La ventilación natural no solamente es crucial para la conservación de energía y la reducción de las emisiones de carbono, sino también para mejorar el nivel de comodidad y calidad del aire del entorno construido. Recientemente, se ha señalado la importancia de proveer ventilación suficiente en espacios cerrados para promover la renovación de aire interior con aire exterior y reducir la transmisión de enfermedades.

De los análisis efectuados se concluye que la configuración de chimenea solar propuesta tiene un potencial significativo a la hora de incrementar la ventilación natural en locales donde no puede utilizarse la ventilación cruzada, teniendo en cuenta que generalmente las habitaciones de una vivienda se caracterizan por ventilarse por solo una cara. Se recomienda, para estudios posteriores, realizar simulaciones tridimensionales a escala real y analizar la distribución de temperatura en una habitación de una vivienda con la inclusión de puertas, ventanas, cargas térmicas, etc.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló bajo la tesis "Caracterización de un colector solar de aire con tiro térmico en cubierta para la mejora de la ventilación natural en clima cálido subhúmedo" programa de Doctorado en Diseño Bioclimático, de la División de Ciencias y Artes para el Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana – Se agradece al Centro de Estudios Meteorológicos de la Costa (CEMCO).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Kayiem, H., Sreejaya, K.V. y Gilani, S. (2014). Mathematical analysis of the influence of the chimney height and collector area on the performance of a roof top solar chimney. *Energy and Buildings*, *68*, 305-311. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.021

Bassiouny, R. y Korah, N. (2009). Effect of solar chimney inclination angle on space flow pattern and ventilation rate. *Energy and Buildings, 41*, 190-196. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.08.009

Bouchair, A. (1994). Solar Chimney for Promoting Cooling Ventilation in Southern Algeria. *Building Services Engineering Research and Technology*, *15*, 81-93.

Chen, Z., Bandopadhayay, P., Halldorsson, J., Byrjalsen, C., Heiselberg, P. y Li, Y. (2003). An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux. *Building and Environment, 38*, 893-906.

Dhahri, M. y Aouinet, H. (2020). CFD investigation of temperature distribution, air flow pattern and thermal comfort in natural ventilation of building using solar chimney. *World Journal of Engineering*, *17*, 78-86. DOI: https://doi.org/10.1108/WJE-09-2019-0261

De Buen, O. (2017). *El confort en la demanda eléctrica*. Recuperado de https://www.energiaadebate.com/blog/2338/

González, L. y Beele, A. (2016). *Estudio de caracterización del uso de aire acondicionado en vivienda de interés social*. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164221/Conuee_2016_Estudio_Caracterizaci_n_Uso_Aire_Acondicionado_en_Vivienda.pdf

Harris, D. y Helwig, N. (2007). Solar chimney and building ventilation. *Applied Energy, 84*, 135-146. DOI: 10.1016/j.apenergy.2006.07.001

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2018). *Encuesta Nacional de Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encevi/2018/doc/encevi2018_presentacion_resultados.pdf

Jianliu, X. y Weihua, L. (2013). Study on solar chimney used for room natural ventilation in Nanjing. *Energy and Buildings, 66*, 467-469. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.036

Khanal, R. y Lei, C. (2011). Numerical investigation of the ventilation performance of a solar chimney. *ANZIAM Journal, 52*, 899-913. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.035

Kong, J., Niu, J. y Lei, C. (2020). A CFD based approach for determining the optimum inclination angle of a roof-top solar chimney for building ventilation. *Solar Energy, 198*, 555-569. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.017

Lal, S., Kaushik, S. y Bhargav, P. (2013). Solar chimney: A sustainable approach for ventilation and building space conditioning. *International Journal of Development and Sustainability, 2*(1), 277-297. Recuperado de: https://isdsnet.com/ijds-v2n1-20.pdf

Li, A., Jones, P., Zhao, P. y Wang, L. (2004) Heat transfer and natural ventilation airflow rates from single-sided heated solar chimney for buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering 3*(2): 233-238. DOI: 10.3130/jaabe.3.233

Liping, W. y Angui, L. (2004). A numerical study of vertical solar chimney for enhancing stack ventilation in buildings. En *Proceedings of the 21th conference on passive and low energy architecture*, *Eindhoven, The Netherlands* (pp. 1–5). Recuperado de http://alexandria.tue.nl/openaccess/635611/p1145final.pdf

Mahdavinejad, M., Fakhari, M. y Alipoor, F. (2013). The Study on Optimum Tilt Angle in Solar Chimney as a Mechanical Eco Concept. *Frontiers of Engineering Mechanics Research, 2*(3), 71-80. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/256198688_The_Study_on_Optimum_Tilt_Angle_in_Solar_Chimney_as_a_Mechanical_Eco_Concept

Mathur, J., Bansal, N., Mathur, S., Jain, M. y Anupma. (2006). Experimental investigations on solar chimney for room ventilation. *Solar Energy, 80*, 927-935. DOI: 10.1016/j.solener.2005.08.008

Neves, L. (2012). *Chaminé solar como elemento indutor de ventilação natural em edificações*. Tesis doctoral. Universidade Estadual de Campinas. Recuperado de http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/258774

Rodrigues, N., Frick, J., Bejat, T. y Garrecht, H. (2021). Using CFD to Evaluate Natural Ventilation through a 3D Parametric Modeling Approach. *Energies, 14*(8). DOI: https:// doi.org/10.3390/en14082197

Saadatjoo, P., Mahdavinejad, M. y Zhang, G. (2018). A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions. *Building Simulation, 11*, 359–372. DOI: https://doi.org/10.1007/s12273-017-0407-7

Saifi, N., Settou, N., Dokkar, B., Negrou, B. y Chennouf, N. (2012). Experimental study and simulation of airflow in solar chimneys. *Energy Procedia, 18*, 1289 – 1298. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.05.146

Saleem, A., Bady, M., Ookawara, S. y Abdel-Rahman, A. (2016). Achieving standard natural ventilation rate of dwellings in a hot-arid climate using solar chimney. *Energy and Buildings, 133*, 360–370. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.001

Sánchez, E. (2017). *Optimización de la fachada de doble piel acristalada con ventilación natural. Metodología de diseño para el análisis de la eficiencia energética del sistema*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de https://oa.upm.es/46745/1/EDURNE_SANCHEZ_SALCEDO.pdf

Shi, L., Zhang, G., Cheng, X., Guo, Y., Wang, J. y Chew, M. (2016). Developing an empirical model for roof solar chimney based on experimental data from various test rigs. *Building and Environment, 110*, 115-128. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.002

Shi, L., Zhang, G., Yang, W., Huang, D., Cheng, X. y Setunge, S. (2018). Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 88*, 223-238. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.033

Yusoff, W., Salleh, E., Adam, N., Sapian, A. y Sulaiman, M. (2010). Enhancement of stack ventilation in hot and humid climate using a combination of roof solar collector and vertical stack. *Building and Environment, 45*, 2296-2308. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.04.018

Zhai, X., Dai, Y. y Wang, R. (2005). Comparison of heating and natural ventilation in a solar house induced by two roof solar collectors. *Applied Thermal Engineering, 25*, 741-757. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2004.08.001

Zhang, T., Tan, Y., Yang, H. y Zhang, X. (2016). The application of air layers in building envelopes: A review. *Applied Energy, 165*, 707–734. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.108

ESCUELA BASICA CANTINO
VILCUN