



TECNOLOGÍA
en marcha

Revista trimestral
Octubre 2025
Volumen 38
ISSN-E 2215-3241

Número especial
**Escuela de Arquitectura
y Urbanismo TEC**

Publicación y directorio en catálogos

latindex

redalyc.org

Dialnet

melICA

SciELO

REDIB
Red Iberoamericana
de Investigadores y Docentes

DOAJ

ET
Editorial Tecnológica
de Costa Rica

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Comisión Editorial

Felipe Abarca Fedullo. Director.
Editorial Tecnológica de Costa Rica

Juan Antonio Aguilar Garib
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Autónoma de Nuevo León.
México

Carlos Andrés Arredondo Orozco
Facultad de Ingenierías
Universidad de Medellín. Colombia

Lars Köhler
Experimenteller Botanischer Garten
Georg-August-Universität Göttingen.
Alemania

Jorge Solano Jiménez
Instituto Costarricense del Cemento
y del Concreto

Edición técnica

Alexa Ramírez Vega

Revisión filológica

Esperanza Buitrago Poveda

Diseño gráfico

Felipe Abarca Fedullo

Diagramación

Alexa Ramírez Vega

Diseño de cubierta

Felipe Abarca Fedullo

Imagen de cubierta

Felipe Abarca Fedullo

Datos de catalogación en publicación

Tecnología en Marcha / Editorial Tecnológica
de Costa Rica. - Vol. 38, número especial.
EAU. Octubre, 2025.
ISSN-E 2215-3241

1. Ciencia y Tecnología –
Publicaciones periódicas CDD:600



Apdo 159-7050 Cartago, Costa Rica
Tel.:(506) 2550-2297, 2550-2618
Correo electrónico: editorial@itcr.ac.cr
Web: <https://www.tec.ac.cr/editorial>
http://revistas.tec.ac.cr/tec_marcha



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

La Editorial Tecnológica de Costa Rica es una dependencia especializada del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Desde su creación, en 1978, se ha dedicado a la edición y publicación de obras en ciencia y tecnología. Las obras que se han editado abarcan distintos ámbitos respondiendo a la orientación general de la Institución.

Hasta el momento se han editado obras que abarcan distintos campos del conocimiento científico-tecnológico y han constituido aportes para los diferentes sectores de la comunidad nacional e internacional.

La principal motivación de la Editorial es recoger y difundir los conocimientos relevantes en ciencia y tecnología, llevándolos a los sectores de la comunidad que los requieren.

La revista *Tecnología en Marcha* es publicada por la Editorial Tecnológica de Costa Rica, con periodicidad trimestral. Su principal temática es la difusión de resultados de investigación en áreas de Ingeniería. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, especialistas, docentes y estudiantes universitarios de todo el mundo.

Publicación y directorio en catálogos





TECNOLOGÍA *en marcha*

Contenidos

Presentación

Presentation

Ileana Hernández-Salazar, Mauricio Guevara-Murillo, Danilo Valerio-Alfaro 3

Representaciones sociales sobre el patrimonio cultural en la ciudad de San José, Costa Rica

Social representations of cultural heritage in San José, Costa Rica

Rosa Elena Malavassi-Aguilar 6

Estudio de dinámica de fluidos como medio de conservación programada del patrimonio, aplicado a la Casa de la Cultura de Liberia

Investigation into fluid dynamics for programmed conservation of heritage, applied to the Casa de la Cultura in Liberia

Enmanuel Salazar-Ceciliano, Marco-Antonio Barrantes-Elizondo 20

Análisis morfológico y evolutivo de las viviendas en asentamientos informales, aplicado en la comunidad de Vida Nueva

Morphological and housing evolutionary analysis in informal settlements, applied to the community of Vida Nueva

Valeria Murillo-Viquez 32

Geoportal web para la gestión y difusión de los recursos patrimoniales de la ciudad de Limón, Costa Rica

Web geoportal for the management and dissemination of the heritage resources of Limón City, Costa Rica

Mauricio Guevara-Murillo, Rosa Elena Malavassi-Aguilar, David Porras-Alfaro 46

Evaluación de modelos acústicos del Teatro Nacional de Costa Rica: hacia un diseño mejorado de concha acústica

Assessment of acoustic models of the National Theater of Costa Rica: towards an improved acoustic shell design

Joan Alfaro-Zamora, Jose Pablo Bulgarelli-Bolaños, Natalia Murillo-Quirós 59

Bloques de tierra comprimida como alternativa sostenible para su integración en sistemas constructivos convencionales en la ciudad de Liberia	
Compressed earth blocks as a sustainable alternative for their integration into conventional construction systems in the city of Liberia	
<i>Esteban Francisco Quirós-Ramírez, Francisco Castillo-Camacho.....</i>	<i>72</i>
Nivel de madurez de gemelos digitales aplicados a inmuebles con valor cultural: el foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica	
Maturity level of digital twins applied to buildings with cultural value: the foyer and smoking rooms of the National Theater of Costa Rica	
<i>Jose Pablo Bulgarelli-Bolaños, Ileana Hernández-Salazar, Manuel Castellano-Román.....</i>	<i>84</i>
La aplicación de la microscopía óptica para la identificación de hongos causantes de biodeterioro en edificaciones con valor patrimonial	
The application of optical microscopy for the identification of fungi causing bio-deterioration in heritage buildings	
<i>Dawa Méndez-Alvarez, Kenia García-Baltodano, David Porras-Alfaro, William Rivera-Méndez</i>	<i>96</i>
Estudio de los procesos patológicos en la arquitectura de tierra en Costa Rica: los centros históricos de Cartago y Santo Domingo de Heredia	
Study of Pathological Processes in Earthen Architecture in Costa Rica: The Historic Centers of Cartago and Santo Domingo de Heredia	
<i>Ileana Hernández-Salazar, Mauricio Guevara-Murillo, Jose Pablo Bulgarelli-Bolaños.....</i>	<i>112</i>
Construcción social del Centro Histórico de Liberia, Costa Rica	
The social construction of the historic center of Liberia, Costa Rica	
<i>Dominique Chang-Albizurez, Rosa Elena Malavassi-Aguilar</i>	<i>126</i>
Herramientas SIG para la prospección urbana. Simulaciones dirigidas a la revitalización del Centro Histórico de San José en el marco del Proyecto San José RISE	
GIS tools for urban prospecting. Simulations aimed at revitalizing San José's historic downtown as part of the San José RISE Project	
<i>Mauricio Guevara-Murillo, Tomás Martínez-Baldares.....</i>	<i>140</i>

Presentación




Presentation

Ileana Hernández-Salazar¹, Mauricio Guevara-Murillo², Danilo Valerio-Alfaro³

Barreda-Lizano, E. Presentación. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 3-5.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8302>



- 1 Comité Técnico de Investigación y Extensión. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
 ihernandez@itcr.ac.cr
- 2 Comité Técnico de Investigación y Extensión. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
 mauguevara@tec.ac.cr
- 3 Comité Técnico de Investigación y Extensión. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
 dvalerio@itcr.ac.cr

Veinticinco años de formar y formarnos: contribuciones desde la Escuela de Arquitectura y Urbanismo

Un aniversario es sinónimo de crecimiento, aprendizaje y esfuerzo, es una oportunidad para la reflexión, para valorar el camino recorrido, entender el momento presente y proyectar hacia el futuro. Cuando se trata de una institución académica celebrar veinticinco años va más allá de rememorar un inicio, es ejercer una mirada crítica sobre los principios, las prácticas y los compromisos que han sustentado su trayectoria a lo largo de un cuarto de siglo.

A lo largo de estos años, la Escuela de Arquitectura y Urbanismo (EAU) ha trabajado en la consolidación de una propuesta académica que articula las funciones sustantivas del TEC como universidad pública: docencia, investigación y extensión. En este sentido, la Escuela se ha comprometido con la formación integral de profesionales críticos, sensibles y conscientes de la realidad nacional, capaces de incidir en los procesos de construcción y transformación de la ciudad.

La investigación y la extensión han sido pilares fundamentales en el crecimiento de la EAU. Las acciones en estos campos se han dirigido a través de líneas base encargadas de dirigir y afianzar la labor académica. Los proyectos coordinados por la Escuela y desarrollados en colaboración con otras unidades académicas e instituciones públicas nacionales e internacionales pretenden nutrir la práctica docente, construir nuevo conocimiento en la disciplina, aportar en el abordaje de los retos país, y fortalecer los vínculos con las comunidades, los gobiernos locales y otros actores sociales.

Las líneas de investigación y extensión de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo reflejan su compromiso con una comprensión crítica del entorno construido y la atención a las necesidades contemporáneas de la realidad nacional. La línea *Ciudad, territorio y paisaje* estudia el espacio habitable desde una perspectiva integral, considerando sus dimensiones territoriales, paisajísticas y socioculturales. *Producción del espacio arquitectónico y urbano* se enfoca en los procesos proyectuales y constructivos que dan forma al entorno, promoviendo enfoques interdisciplinarios. *Docencia en arquitectura y urbanismo*, la más reciente de las líneas, se dirige hacia el análisis crítico de la enseñanza de estas disciplinas, pretende explorar en metodologías, evaluación y gestión del conocimiento. Finalmente, *Patrimonio e identidad* investiga la relación entre memoria, cultura y territorio, abordando la conservación y resignificación del patrimonio en diálogo con las dinámicas sociales.

La importancia de estas líneas de investigación y extensión no reside únicamente en su producción académica sino en la capacidad para integrarse a la docencia de manera transversal y coherente. A través de los diferentes cursos, las prácticas de vinculación, los trabajos finales de graduación y las asistencias especiales, se alimenta la formación de personas estudiantes con pensamiento crítico, sensibilidad social y capacidades técnicas para afrontar los retos de la vida profesional.

Este número especial en la Revista Tecnología en Marcha refleja la diversidad de áreas donde la Escuela tiene incidencia, muestra valiosos resultados basados en el trabajo interdisciplinar y abre el panorama hacia nuevas preguntas y horizontes de accionar colaborativo. Los trabajos aquí reseñados son resultado del esfuerzo de un cuerpo docente comprometido con el quehacer de la Escuela en sus cuatro líneas de investigación y extensión, y se complementa con el valioso aporte de personas estudiantes, lo que reafirma la importancia de la integración de los pilares institucionales en beneficio de la producción académica.

Con la presente edición se busca celebrar los veinticinco años de trayectoria de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo, así como visibilizar el trabajo conjunto que se realiza y su impacto en el contexto nacional. A la vez, constituye un llamado a seguir construyendo una Escuela abierta

al diálogo, atenta para adaptarse a las necesidades actuales y capaz de imaginar y materializar espacios, ciudades y territorios más inclusivos y sostenibles. Que estas páginas sirvan como punto de encuentro para continuar reflexionando, proyectando y habitando el mundo desde una visión crítica, creativa y comprometida.

Finalmente, el Comité Técnico de Investigación y Extensión de la EAU agradece a la Revista Tecnología en Marcha por la oportunidad de difundir una vez más, parte del trabajo docente, de investigación y de extensión que se realiza desde la Escuela a toda la comunidad académica. Además, agradecemos a cada una de las personas autoras que dedicaron tiempo y esfuerzo en el desarrollo de los artículos compilados en este número especial. Extendemos un agradecimiento a las personas que voluntariamente se ofrecieron a conformar el Comité Científico, por su compromiso en la revisión rigurosa de cada documento, por el esfuerzo y dedicación demostrados durante este arduo proceso. Felicitamos a las personas estudiantes que forman parte de esta edición como autores, coautores o asistentes y les instamos a continuar participando de los proyectos de investigación y extensión desde las diferentes oportunidades que ofrece nuestra institución.

Comité Científico para la Edición Especial 25 Aniversario

Mstr. Arq. Jose Pablo Bulgarelli Bolaños

Arq. Dominique Chang Albizurez

Dra. Arq. Kenia García Baltodano

MDU. Arq. Mauricio Guevara Murillo

Mstr. Arq. Ileana Hernández Salazar

Dra. Arq. Rosa Elena Malavassi Aguilar

Dr. Arq. David Porras Alfaro

Mstr. Arq. Enmanuel Salazar Ceciliano


Arq. Danilo Valerio Alfaro

Representaciones sociales sobre el patrimonio cultural en la ciudad de San José, Costa Rica

Social representations of cultural heritage in San José, Costa Rica

Rosa Elena Malavassi-Aguilar¹

Malavassi-Aguilar, R.E. Representaciones sociales sobre el patrimonio cultural en la ciudad de San José, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 6-19.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8286>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 rmalavasi@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-6051-1062>



Palabras clave

Patrimonio arquitectónico; identidad nacional; patrimonio oficial; discurso; estudios subalternos.

Resumen

Las Representaciones Sociales, según el psicólogo social rumano Serge Moscovici, son un sistema de valores, ideas y prácticas que le permiten al individuo orientarse y controlar el mundo social, a la vez que facilitan la comunicación mediante códigos. Las Representaciones Sociales son una producción grupal, la psicóloga social mexicana Silvia Valencia explica que se producen en una doble vía: son producto porque los sujetos le asignan contenido, y son acción porque son un medio para apropiarse de la realidad. En este artículo se analizan las Representaciones Sociales sobre el patrimonio cultural en la ciudad de San José. Se identifican dos direcciones en las que se producen las Representaciones Sociales: la producción de Representaciones Sociales por parte de los grupos dominantes, por lo tanto, una producción “desde arriba” que resulta en un “patrimonio oficial”; y la producción de Representaciones Sociales por parte de los grupos subalternos, que se considera la producción “desde abajo” y resulta en un “patrimonio cotidiano”. Se identificaron cinco Representaciones Sociales, todas relacionadas entre sí. Este análisis permite comprender cómo el discurso oficial para la creación de una identidad nacional se refleja en la creación del patrimonio en la ciudad capital. También permite comprender cómo el subalterno construye una idea de patrimonio que puede diferir del discurso oficial, por ejemplo, asignarle valores a la arquitectura moderna, o bien, entender cómo el discurso oficial puede dejar fuera la producción de los grupos subalternos.

Keywords

Architectural heritage; national identity; official heritage; discourse; subaltern studies.

Abstract

Social Representations, according to Romanian social psychologist Serge Moscovici, are a system of values, ideas, and practices that allow individuals to orient themselves and control the social world while also facilitating communication through codes. Social Representations are a collective production; Mexican social psychologist Silvia Valencia explains that they are produced in a dual way: they are a product because individuals assign them content, and they are an action because they serve to appropriate reality. This article analyzes Social Representations of cultural heritage in the city of San José. Two main directions in which Social Representations are produced are identified: the production of Social Representations by dominant groups, which results in a “top-down” process leading to an “official heritage”; and the production of Social Representations by subaltern groups, which is considered a “bottom-up” process leading to an “everyday heritage.” Six Social Representations were identified, all interconnected. This analysis helps to understand how the official discourse in the creation of a national identity is reflected in the construction of heritage in the capital city. It also allows us to understand how subaltern groups construct an idea of heritage that may differ from the official discourse, for example, by assigning value to modern architecture, likewise, it sheds light on how the official discourse may exclude the production of subaltern groups.

Introducción

El presente artículo tiene como objetivo analizar las Representaciones Sociales sobre el patrimonio cultural en la ciudad de San José, Costa Rica, partiendo de la existencia de un patrimonio oficial, creado por los grupos con poder, es decir, las instituciones que oficialmente otorgan a un bien o una manifestación la categoría de patrimonio, y la existencia de un patrimonio definido como cotidiano, que se refiere al patrimonio que identifican los habitantes de la ciudad en su cotidianidad. De esta forma, se entiende el patrimonio cultural como un constructo, como lo explica Konsa: "...heritage is always an ideological and symbolic construct that is influenced by historical, political and social contexts." [1, p. 128].

En Costa Rica se han realizado investigaciones sobre el patrimonio cultural que han tenido enfoques como el turismo cultural [2], [3], [4]; el análisis del patrimonio costarricense desde las regiones culturales [5]; la participación de las comunidades en la construcción de los templos [6] y el estudio del patrimonio cultural como un recurso territorial [7], entre otros aportes. Esta breve revisión permite identificar que efectivamente el estudio de las Representaciones Sociales constituye un aporte a los estudios realizados sobre el patrimonio cultural costarricense.

La teoría de las Representaciones Sociales, cuyo antecedente es el concepto de representación colectiva desarrollado por el francés Emil Durkeim,[8, p. 51] nació de un estudio realizado por Serge Moscovici en el año 1961 titulado *El psicoanálisis, su imagen y su público* [9], su objetivo fue analizar la difusión del psicoanálisis en la sociedad francesa. Moscovici define las Representaciones Sociales como un sistema de valores, ideas y prácticas que permiten al individuo orientarse y controlar el mundo social en que vive, y también facilitar la comunicación entre los miembros de una comunidad mediante códigos [10].

Según Moscovici, las Representaciones Sociales tienen dos funciones: las Representaciones Sociales convencionalizan los objetos, personas y eventos que forman parte de la vida cotidiana, dándoles una forma precisa, asignándoles una categoría que los distingue [9, p. 12]. Pero también las Representaciones Sociales son preceptivas, se imponen con fuerza porque son una combinación de una estructura que existe antes de que comencemos a pensar y una tradición que establece lo que debemos pensar [9, p. 15].

Para Silvia Valencia, las Representaciones Sociales, desde el punto de vista cultural, tienen por reto descubrir los contenidos que pueden permitir abordar los hechos en su condición histórica [8, p. 72]. Moscovici señala que las Representaciones Sociales no son creadas por individuos aislados, y una vez creadas, tienen una vida propia, circulan, se fusionan y dan lugar a nuevas representaciones mientras otras desaparecen [11, p. 20]. Por lo tanto, Valencia plantea las Representaciones Sociales en una doble vía, como producto "en la medida en que los sujetos le asignan un contenido y la organizan en discursos sobre la realidad" [8, p. 54] y como acción, como "un movimiento de apropiación de la realidad a través de un proceso mental, pero en un contexto de producción colectiva, teniendo como medio de transmisión las comunicaciones compartidas" [8, p. 54].

En este análisis se entienden las Representaciones Sociales en dos direcciones: la representación que se crea "desde arriba" por parte de las estructuras de poder, es decir, la imagen que se construye para materializar lo que oficialmente se considera patrimonio, por ejemplo, desde las instituciones estatales que emiten las declaratorias de patrimonio.

La otra dirección se denomina "desde abajo" o los sectores subalternos, según el planteamiento de Ranahit Guha [12], es decir, la forma en que las personas se apropian de la arquitectura y el espacio urbano y crean su propia imagen que, para efectos de esta investigación, se denomina "patrimonio cotidiano", que se entiende como el identificado por las personas a partir de sus vivencias [13].

Moscovici explica que los individuos y grupos, lejos de ser receptores pasivos, piensan en forma autónoma, producen y comunican incesantemente sus propias representaciones [11, p. 26]. Este es el aspecto que permite relacionar las Representaciones Sociales con el análisis del patrimonio, ya que es un medio para analizar el patrimonio no solamente desde la oficialidad, sino desde la forma en que las personas lo perciben y a la vez le asignan valores a edificios que no tienen ese reconocimiento oficial.

Moscovici explica que las Representaciones Sociales tienen dos mecanismos [11, p. 46]: la *objetivación* que permite transformar lo abstracto en algo concreto, y el *anclaje* que consiste en reducir a categorías e imágenes las ideas. La *objetivación* es transformar algo abstracto en algo concreto, es traducir aquello que está en la mente en algo que existe en el mundo físico [14, p. 51]. El proceso de *anclaje* es clasificar y dar nombre a algo desconocido, de esta forma se puede imaginar y representar. Es una categorización o codificación. Categorizar una persona o una cosa equivale a establecer una relación positiva o negativa [11, pp. 48-49].

Según Jodelet, el *anclaje* se descompone en cuatro modalidades [15, pp. 486-490]:

- Anclaje como asignación de sentido: es la evaluación como hecho social de la representación, que depende de la jerarquía de valores sociales.
- Anclaje como instrumentalización del saber: permite comprender que los elementos de la representación no solo expresan relaciones sociales, también contribuyen a construirlas.
- Anclaje y objetivación: es la relación entre la cristalización de una representación y un sistema de interpretación de la realidad y de orientación de los comportamientos.
- Anclaje como enraizamiento en el sistema de pensamiento: es el contacto entre la nueva representación y el sistema de representación preexistente.

Como se indicó, el proceso de creación de Representaciones Sociales es bidireccional, en esta investigación se identifican dos grupos creadores de concepto de patrimonio: los grupos con poderes dominantes y los subalternos; por tanto se analizarán los procesos de objetivación y anclaje en cada uno de los dos grupos. De esta forma es posible comprender el concepto de patrimonio como un constructo [1], con el estudio de caso en la ciudad de San José.

Materiales y métodos

En la presente investigación se toma como referencia el modelo desarrollado por Moscovici, ya que como se indicó, se le considera el autor de esta teoría, por lo que es una propuesta que el mismo puso en práctica. Se complementará con el modelo de Jodelet que comprende fases de objetivación y modalidades de anclaje, lo que permite desarrollar con mayor profundidad y claridad el análisis.

¿Cómo se establece la relación entre Representaciones Sociales y Patrimonio Cultural? La construcción del patrimonio depende, en primera instancia, de los intereses de los grupos que tienen la potestad de asignar la categoría de monumento a un objeto según objetivos particulares, por ejemplo, reafirmar la identidad local o poner en valor el legado de un grupo cultural en particular. No obstante, al tomar en consideración la necesidad de entender las particularidades del contexto, se comprende que en esta construcción del patrimonio también entra en escena el usuario, porque precisamente el usuario de la arquitectura y la ciudad le asigna valores a los objetos que adquieren alguna relevancia en su vida cotidiana, ya sean puntos de referencia especiales, lugares de encuentro, espacios que refieren a alguna vivencia personal, en fin, los elementos ligados a la memoria personal y colectiva.

Existen estudios que han aplicado esta propuesta metodológica, como el desarrollado en Brasil por Guedes, Schwarz, Piva, Bandeira, Carelli y Moraes [16], donde se discute la importancia de la participación de la comunidad en la ejecución de acciones dirigidas a preservar el patrimonio cultural. Las personas autoras aplican la Teoría de las Representaciones Sociales, de Moscovici, para realizar un estudio que permite incorporar los intereses de la población de Joinville, ubicado en el estado de Santa Catarina, en la elaboración de políticas públicas.

Se considera que la construcción del patrimonio se da mediante una Representación Social donde existen procesos de objetivación y anclaje tanto en los grupos con poderes dominantes como en los grupos subalternos. Los grupos con poderes dominantes son las instituciones con la potestad de identificar los objetos arquitectónicos y conjuntos y espacios urbanos que pueden tener valor, según los objetivos de dichas instituciones. Con este fin, se realizó un análisis de discurso sobre las leyes sobre patrimonio y las declaratorias patrimoniales, ya que dichas fuentes permiten conocer un discurso alrededor de lo que se considera tiene valor patrimonial para una nación.

Los resultados del análisis de discurso se pueden consultar en el texto “La costruzione del concetto di beni culturali in Costa Rica” [17], no obstante, es importante mencionar que el análisis demuestra que los principales valores presentes en las declaratorias son antigüedad y lenguaje, por lo tanto, en la construcción oficial del patrimonio en Costa Rica se considera importante la fecha de construcción de los edificios y que su diseño corresponda a un lenguaje arquitectónico conocido.

Para obtener la visión de los usuarios de la ciudad, se tomó como referencia al autor Armando Silvia [18], que desarrolla la metodología para el estudio de los imaginarios urbanos a partir de los croquis afectivos. El croquis se basa más en el tiempo de los ciudadanos y no en el territorio real, por este motivo el autor afirma que así se identifican nuevas territorialidades: “...no lo que se impone (como frontera) cuanto lo que me impongo (como deseo).” [18, p. 27].

El instrumento base para el estudio de los imaginarios, según la propuesta de Silva, es la encuesta. Las preguntas deben tener carácter subjetivo ya que se busca conocer las emociones de los ciudadanos cuando recorren la ciudad. Los resultados del cuestionario deben ser analizados en una hoja de cálculo, pero también deben ser llevados a mapas.

En la presente investigación se aplicó una encuesta de opinión a 148 personas [19, pp. 422-438], cuya muestra es no probabilística debido a las características de la población en estudio, que comprende un total de 47.165 habitantes en la ciudad de San José en sus cuatro distritos principales, pero con una gran afluencia de visitantes debido a la centralización de instituciones y servicios por ser la capital del país.

La otra estrategia aplicada es la observación no participante [20, p. 75], que consiste en observar la situación en estudio, sin involucrarse en la misma. Se utiliza una ficha para registrar los resultados, en la misma se incluyen anotaciones, fotografías y un croquis. Se registran las formas en que se utilizan los espacios públicos, las horas en que tienen mayor actividad, los tipos de usuarios y las actividades que se desarrollan en la ciudad de San José. El objetivo es identificar los espacios significativos para los usuarios de los espacios josefinos.

En este estudio la observación participante se aplicó en lugares seleccionados a partir de los resultados de la encuesta y de una visita previa [19, pp. 753-768]. Se trata de zonas muy utilizadas por los peatones: Bulevar de la Avenida Central, entre calles 14 y 9; Bulevar de la Avenida 4, entre calles 14 y 9; Bulevar de la Calle 2 (Bulevar de Correos); Bulevar Ricardo Jiménez Oreamuno (Calle 17); Paseo de los Estudiantes (Barrio Chino); Paseo de Las Damas; Paseo de Los Museos y Parque Metropolitano La Sabana.

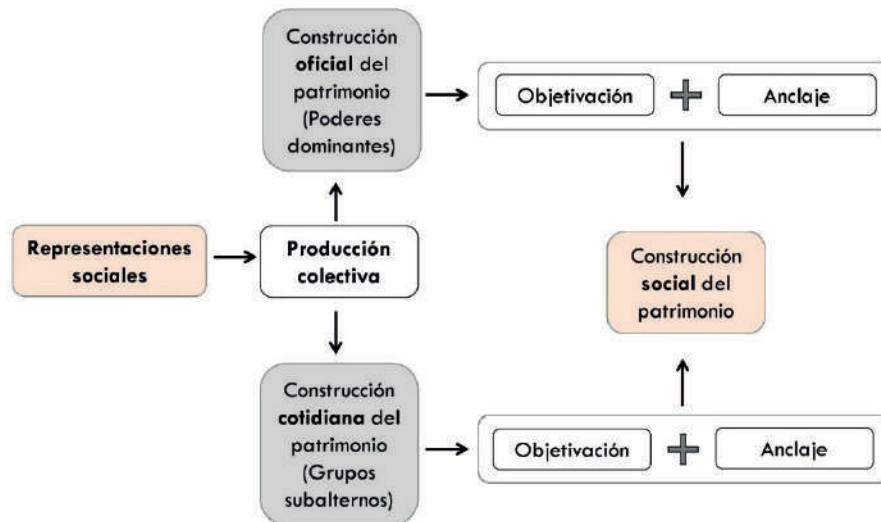


Figura 1. Las Representaciones Sociales aplicadas al estudio de la construcción del patrimonio cultural.

Para comprender los procesos de objetivación y anclaje en la construcción de un concepto de patrimonio cultural en San José, es fundamental considerar las particularidades del contexto, lo que implica proponer estrategias propias tal y como lo plantea la arquitecta argentina Marina Waisman [21]. El esquema de la Figura 1 presenta las ideas expuestas anteriormente, de forma que se evidencie la necesidad de estudiar la construcción oficial del patrimonio desde las instancias que velan por la conservación de este, y la construcción de un patrimonio que forma parte de la vida cotidiana de los habitantes de la ciudad.

Resultados

Producto del análisis de discurso en fuentes relacionadas con la construcción oficial del patrimonio, y del trabajo de campo para recopilar la información que permite comprender cómo las personas ciudadanas construyen en su cotidianidad un patrimonio no oficial, se identifican las siguientes cinco Representaciones Sociales (RS) sobre el patrimonio cultural en la ciudad de San José.

Representación social sobre la creación de la identidad nacional y su posterior repercusión

La primera RS que se encuentra es la referente a la construcción de la identidad costarricense durante el periodo Liberal, en medio de una serie de reformas que buscaban el orden y el progreso en las ciudades, y que con un referente europeo, creó una imagen idealizada de la población que consistía en dar prioridad a la herencia española y negar la existencia de indígenas y afrodescendientes, lo que corresponde al mito de la “Costa Rica blanca”. En la arquitectura el referente en este sentido fue el lenguaje neoclásico.

En este caso, el proceso de *objetivación* consiste en transformar en algo concreto la imagen idealizada de sociedad que se construye durante el periodo Liberal, y que constituye la base para la creación de una identidad nacional. Este discurso incluye tanto el aspecto étnico como las ciudades y la arquitectura.

Según las fases del proceso de objetivación, la *selección y descontextualización* en esta RS obedecen a un marco de referencia de los gobiernos Liberales que consistía en llevar a las ciudades “orden, progreso y civilización” [22]. El referente eran las ciudades europeas, por

lo que la nueva arquitectura costarricense a partir de ese momento refuerza la presencia de elementos neoclásicos. En las ciudades también se muestran los referentes europeos con las políticas de higiene, que llevan a la construcción de nuevos parques.

La segunda fase de la objetivación es la *formación de un núcleo figurativo*, que consiste en volver visible una estructura conceptual. En este caso, la RS sobre la formación de la identidad costarricense se vuelve visible con las intervenciones en la ciudad, por ejemplo, vías como la Avenida Central, que se vuelve un importante eje para la construcción de edificios con lenguaje neoclásico. El Paseo de Las Damas es una vía que comunicaba la Estación del Ferrocarril al Atlántico con el centro de la ciudad, a la vez, es un eje en el que se construye una serie de parques como parte de las políticas de higiene.

La tercera fase de la objetivación es la *naturalización*, se refiere a que los elementos de la representación se convierten en elementos de la realidad. La construcción de la identidad nacional durante el periodo Liberal se arraigó en la sociedad costarricense y, aunque generalmente el costarricense no es consciente, se mantiene hasta la actualidad. Esta RS es la base para las primeras declaratorias patrimoniales durante la primera mitad del siglo XX, y es la base para la aprobación de la primera ley sobre patrimonio arquitectónico en 1973.

En cuanto al *anclaje* de esta RS, a partir de la propuesta de Jodelet, se identifica el *anclaje como asignación de sentido*. En el campo de la arquitectura y el urbanismo, hasta mediados del siglo XX la forma de construir que corresponde a esta RS, con los edificios en lenguaje académico y las áreas verdes en la ciudad, fueron símbolo de progreso. Sin embargo, después de 1948, con la Segunda República, el discurso cambia, la arquitectura que representaba este periodo de progreso se convierte en un *contravalor*, de esta forma inicia la demolición de edificios decimonónicos o de inicios del siglo XX, para dar lugar a la arquitectura moderna, que corresponde a una RS que será analizada más adelante. Sin embargo, en la década de 1970, surge la preocupación por los edificios que hasta ese momento habían sido demolidos, inicia así la discusión para aprobar una ley para la protección del patrimonio, y la arquitectura con lenguaje académica deja de ser un contravalor, ahora es centro de interés para su protección.

El proceso de objetivación de esta RS se da en los grupos con poderes dominantes, grupos en los que también se da el proceso de anclaje. Sin embargo, esta RS también se ancla en los grupos subalternos mediante la *modalidad de asignación de sentido*. Para los ciudadanos la arquitectura es un hecho social, es parte de su entorno, se convierte en un punto de referencia. En el caso de la arquitectura con lenguaje académico, los ciudadanos le asignan *valores artísticos*, porque destacan su estética (enfatan en su belleza). Ejemplos son el Teatro Nacional y la Catedral Metropolitana (figura 2).



Figura 2. Teatro Nacional de Costa Rica y Catedral Metropolitana de San José.

Representación social sobre el patrimonio cultural de los grupos subalternos

Como se mencionó anteriormente, existe una RS que corresponde a la creación de una identidad nacional, que a la vez se manifiesta en la creación de patrimonio. También existe una RS que, en el caso específico de San José, diferencia una ciudad patrimonial, que corresponde a esa idea de identidad, y una ciudad caótica, en la que se ubica todo aquello, y también todos aquellos, que son excluidos de la identidad nacional, esta RS se analiza más adelante.

El proceso de *objetivación* de esta RS busca volver algo concreto la presencia de grupos subalternos que aportan a la construcción del patrimonio cultural nacional. La fase *selección y descontextualización* se inscribe en un sistema de valores que busca incluir a los sectores de la población que históricamente han sido relegados a un segundo plano.

Por ejemplo, desde la década de 1990 la investigación sobre la historia de la arquitectura en Costa Rica incluye entre sus intereses el análisis de la vivienda indígena, tanto en investigaciones de la arquitectura costarricense en general [23], como en publicaciones específicas sobre el tema [24]. Otro tema tratado desde la academia es la puesta en valor de la arquitectura modesta de San José, por ejemplo, las casas de madera de los barrios del sur de la capital [25] (figura 3).

La segunda fase es la *formación de un núcleo figurativo*, volver visible una estructura conceptual. En el caso de esta RS, esta fase aún no logra consolidarse debido a que, por ejemplo, los aportes desde la academia no tienen el impacto deseado en la población. No obstante, un análisis desarrollado en redes sociales demostró que existe interés en un sector de la población por documentar el patrimonio modesto, también hay ciudadanos que muestran su preocupación por la conservación del patrimonio local, aquel que no es acorde con los valores requeridos para ser declarado patrimonio nacional, pero que es representativo para un grupo en particular. Un ejemplo es el grupo de la red social Facebook “Amantes de Casas Antiguas CR” [26], en este grupo los miembros comparten fotografías de viviendas de todo el país, en este grupo es igual de importante una casa de hacienda que una pequeña vivienda en el centro de San José. Por los motivos expuestos, la tercera fase de *naturalización*, que trata de la RS como parte de una realidad, no se ha consolidado.



Figura 3. Viviendas del Barrio San Cayetano, al sur de San José.

Representación social sobre la arquitectura moderna en la ciudad de San José

Esta RS se identificó en los grupos subalternos, tanto en publicaciones en redes sociales como en la encuesta aplicada. Un ejemplo es el grupo en la red social Facebook titulado “Arquitectura Histórica Movimiento Moderno en Costa Rica.”[27] El proceso de *objetivación* consiste en evidenciar el valor patrimonial de la arquitectura representativa del movimiento moderno existente en la ciudad de San José.

En la fase de *selección y descontextualización* se identificaron tres momentos. El primero corresponde a las décadas de 1950 y 1960, cuando inicia el derribo de edificios del siglo XIX e inicios del siglo XX para construir los nuevos edificios estatales, que seguían un lenguaje moderno, símbolo de consolidación del Estado, contrario al lenguaje académico de los edificios demolidos. El segundo momento es el rechazo al “progreso” que representa esta arquitectura moderna en detrimento del legado del siglo XIX. El tercer momento es el actual, cuando resurge el interés por poner en valor la arquitectura moderna, y cuando el ciudadano reconoce que los edificios modernos son representativos de la ciudad (figura 4).

La *formación de un núcleo figurativo*, segunda fase de la objetivación, se evidencia en las encuestas realizadas, cuando las personas al ser consultadas por elementos representativos de la ciudad, mencionan edificios modernos y, en menor medida, los edificios con lenguaje académico que tienen declaratoria patrimonial. Esto demuestra que la arquitectura moderna forma parte del imaginario de la ciudad.

La *naturalización*, tercera fase de la objetivación, se evidencia cuando al consultarle a los encuestados por sus recorridos cotidianos por la ciudad y por sus recuerdos asociados a San José, recurren a la arquitectura moderna como punto de referencia. Igual sucede con el caso de la Plaza de la Cultura, un espacio construido a inicios de la década de 1980, y que hoy es uno de los espacios más mencionados como lugar de encuentro por parte de las personas que transitan por San José.

El proceso de *anclaje* permite interpretar la integración de la arquitectura moderna al imaginario posmoderno. El proceso de *anclaje como asignación de sentido* se da mediante la asignación de valores, o bien de contravalores, de forma que la RS se convierta en un hecho social. Esto sucede con la arquitectura moderna que, como se indicó al comentar el proceso de observación, fue rechazada durante la década de 1970 y actualmente es parte del imaginario y se busca su puesta en valor.

El rechazo durante los años 70's, cuando se aprueba la primera ley para la protección del patrimonio, se debe a que se consideraba a esta arquitectura con poca estética en comparación con la arquitectura de lenguaje académico, por lo tanto, se le consideraba un contravalor. Actualmente, los edificios modernos son importantes puntos de referencia en la ciudad, incluso se les asignan valores cognitivos, ya que son edificios que forman parte de los recuerdos mencionados por las personas consultadas en la encuesta (figura 4)

La última modalidad del proceso de anclaje es el *anclaje como enraizamiento en el sistema de pensamiento*. Después de haber sido rechazada, la arquitectura moderna se ha posicionado en la ciudad, no sólo como punto de referencia para el ciudadano, sino también en grupos en redes sociales que promueven su puesta en valor, y en investigaciones académicas que enfatizan en su valor histórico [28], [29], [30].



Figura 4. En la primera fotografía se observa la torre del Banco Nacional junto a su primer edificio y el edificio de Correos. En la segunda fotografía se observan el edificio del antiguo Banco Anglo, hoy Ministerio de Hacienda, y el Banco Popular, ambos ejemplos de arquitectura moderna.

Representación social sobre los espacios y arquitectura representativos de la ciudad de San José

Esta RS se construye a partir de la forma en que se ha configurado la ciudad, con el desarrollo de vías y de tejidos urbanos que se consolidan, y como las personas interactúan con este trazado de la ciudad y se apropian de sus espacios. Por tanto, el proceso de *objetivación* consiste en comprender cómo el ciudadano vuelve cotidiano un trazado urbano que es producto de las decisiones tomadas por los grupos con poderes dominantes.

Según la observación no participante realizada, para los ciudadanos los espacios tienen valor cuando se relacionan con la memoria, cuando presentan un valor estético o cuando tienen antigüedad. Existen coincidencias entre los espacios de la ciudad que son representativos para los ciudadanos y los espacios que son producto de las decisiones de grupos con poderes dominantes. Por ejemplo, la Avenida Central, es una vía que ha concentrado los principales edificios comerciales, fue parte del recorrido del tranvía y finalmente fue peatonalizada. A la vez, es una de las zonas de la ciudad con mayor actividad cultural y de tránsito de ciudadanos.

La segunda fase de la objetivación es la *formación de un núcleo figurativo*, que se trata de una imagen que reproduce un concepto. Un ejemplo es la identificación de un centro de la ciudad por parte de los ciudadanos, comprendido por la Catedral Metropolitana y el Parque Central (figura 5). Otro ejemplo es el Parque Metropolitano de La Sabana que, si bien ha sido escenario de eventos oficiales, para el ciudadano la importancia radica en las vivencias que asocia a esta zona verde de la capital.

La tercera fase de la objetivación es la *naturalización*, cuando la RS pasa a ser parte de la realidad. La observación no participante demuestra que hay espacios de la ciudad de los que los usuarios se han apropiado, que forman parte de su diario transitar por San José. Los más importantes son la Avenida Central (figura 5), la Plaza de la Cultura y el Parque Central-Catedral Metropolitana.

En el *anclaje*, se identifica la modalidad de *anclaje como asignación de sentido* cuando los ciudadanos asignan valores a los espacios de la ciudad. El principal valor asignado a los espacios identificados como importantes es el valor cognitivo, que se relaciona con la memoria.



Figura 5. Parque Central de San José y boulevard de la Avenida Central.

El *anclaje y objetivación* se refleja en los recuerdos mencionados por las personas encuestadas. Por ejemplo, cuando los parques de la ciudad son el escenario de sus memorias sobre la infancia, o en la descripción de sus recorridos cotidianos. Finalmente, el *enraizamiento en el sistema de pensamiento* permite comprender esta RS en relación con las mencionadas

anteriormente, ya que la identificación de arquitectura y espacios representativos muestra tanto las ideas de creación de una identidad nacional, como la apropiación de las nuevas intervenciones la ciudad y la introducción de nuevos lenguajes arquitectónicos.

Representación social sobre la ciudad de San José: la ciudad patrimonial y la ciudad caótica

La primera RS analizada responde a la creación de una identidad nacional y cómo la misma se refleja en el reconocimiento de un patrimonio oficial. En el caso específico de la ciudad de San José, diversos autores han analizado cómo esa imagen que idealiza la Costa Rica del siglo XIX tiene una implicación directa en el imaginario sobre la ciudad de San José [31]. Por tanto, la RS sobre la ciudad de San José es producto del *anclaje como enraizamiento en el sistema de pensamiento* de la RS sobre la creación de una identidad nacional descrita anteriormente.

En esta RS la *objetivación* se refiere a la relación que se da entre la idea de patrimonio cultural y la exclusión en la ciudad. En este caso, cómo una idea de identidad nacional implica una idea de patrimonio, este concepto se concretiza en la segregación social en la ciudad.

La primera fase del proceso de objetivación es la *selección y descontextualización*, en esta RS esa selección se da de acuerdo con un sistema de valores que lleva a considerar como representativos del patrimonio cultural de San José los edificios con lenguaje académico y los barrios del norte de la ciudad. Los barrios del sur, caracterizados por una arquitectura modesta, representan un antivalor, son los barrios considerados peligrosos y carentes de expresiones culturales. Como lo estudian Araya [31] y Quesada [32], se construyen imaginarios positivos y negativos según el sector de la ciudad del que se trate.

No se trata de cuestionar el valor de los inmuebles declarados, se trata de comprender que el sistema de valores que ha llevado a la declaratoria de los inmuebles, a la vez es excluyente de las manifestaciones patrimoniales de otros sectores de la sociedad.

El proceso de *anclaje* permite comprender cómo se reduce a categorías e imágenes la idea de una ciudad patrimonial y una ciudad caótica. De las modalidades de anclaje propuestas por Jodelet, en este caso aplica el *anclaje como asignación de sentido*. Este anclaje se da según una jerarquía de valores. Cuando se aplicó la encuesta, las personas expresaron su percepción de la ciudad según la consideran segura o peligrosa, limpia o sucia, alegre o triste. En este apartado las personas indicaron que San José es una ciudad insegura, sucia y desordenada. Sin embargo, al preguntarles por recuerdos sobre sus vivencias en San José, la mayoría de las respuestas se refieren a experiencias positivas. Así se evidencia como la imagen de la ciudad caótica se ha anclado en los ciudadanos, pero a la vez, las personas reconocen que tienen vivencias agradables en la ciudad e indican que San José tiene valor patrimonial.

El *anclaje y objetivación* se refiere a la aplicación de la RS en la vida cotidiana. La encuesta refleja cómo esta RS ha calado en el imaginario colectivo. Las personas reproducen el discurso de la ciudad segregada cuando describen sus recorridos por San José, mencionan los lugares que consideran peligrosos y sucios, indican no considerar valiosa la arquitectura doméstica de los barrios del sur a la vez que añoran la ciudad de la primera mitad del siglo XX, la ciudad “bella” que muchos, por su edad, no llegaron a conocer.

El *anclaje como enraizamiento en el sistema de pensamiento*, se manifiesta en la forma en que esta RS es producto de las RS analizadas anteriormente, ya que incluye tanto la visión oficial del patrimonio como la visión del subalterno, e incluye tanto el patrimonio modesto como el de más reciente construcción.

Conclusiones

A partir del análisis desarrollado, se identificaron cinco RS asociadas a la construcción del patrimonio en la ciudad de San José. Todas tienen aspectos en común, aunque al buscar los puntos coincidentes se comprende que hay jerarquías, algunas representaciones están consolidadas, otras están aún en proceso de construcción.

La RS más fuerte es la primera, que corresponde a la creación de una identidad nacional durante el periodo Liberal y su repercusión en la actualidad. Esta representación corresponde a una idea que deja fuera las manifestaciones patrimoniales de grupos subalternos (el patrimonio modesto) y la arquitectura introducida a partir de la segunda mitad del siglo XX (arquitectura moderna).

Cada uno de los aspectos que han sido excluidos de la RS principal, han pasado a crear una nueva representación. De esta forma se plantea una RS sobre el patrimonio cultural de los grupos subalternos, que incluye, por ejemplo, la producción de los grupos indígenas y el patrimonio de los barrios del sur de la ciudad de San José.

Jodelet plantea en la cuarta modalidad de anclaje que las RS no surgen de la nada, sino que encuentran algo que ya había sido pensado. En ese sentido, se plantea que una RS puede dar origen a otra, por lo que se considera que las siguientes tres RS: creación de la identidad nacional, patrimonio de los grupos subalternos y arquitectura moderna, dan lugar a una RS que trata sobre los espacios y arquitectura representativos en la ciudad de San José.

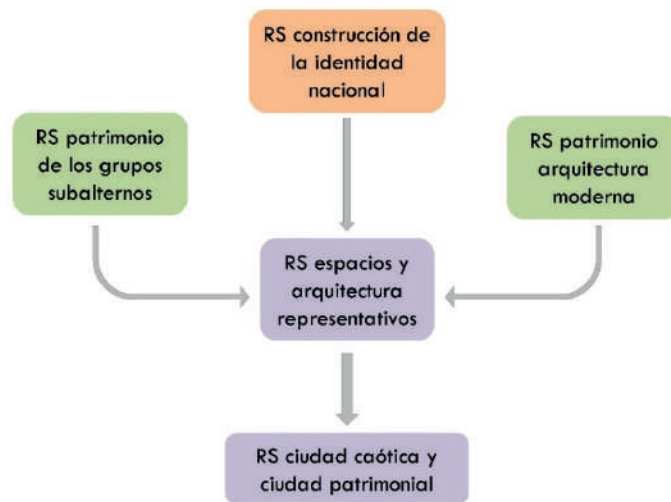


Figura 6. Sistema de relaciones entre las cinco Representaciones Sociales identificadas.

Finalmente, las cuatro RS mencionadas confluyen en una quinta RS que trata sobre la ciudad caótica y la ciudad patrimonial (ver figura 6). Incluye las distintas percepciones, desde lo establecido por la creación de la identidad nacional, los procesos de crecimiento de la ciudad estudiados en el análisis urbano, la existencia de un patrimonio oficial y uno cotidiano y la valoración del patrimonio modesto y la arquitectura moderna.

Las Representaciones Sociales son una herramienta para entender cómo los grupos sociales perciben y construyen su identidad a través del patrimonio cultural. De esta forma se pueden comprender procesos de pertenencia y exclusión en la sociedad, que se ven reflejados en la forma en que se apropia o rechaza la arquitectura y el espacio público.

El estudio de las Representaciones Sociales es una herramienta para la gestión del patrimonio cultural, porque permite asegurar que se tome en consideración las necesidades y percepciones de las personas que interactúan con ese patrimonio, permitiendo de esta forma la participación ciudadana.

Finalmente, las Representaciones Sociales son una herramienta educativa, porque permiten evidenciar la diversidad cultural y la importancia del patrimonio en la conformación de las identidades locales y nacionales. Esta característica aplica tanto para la proyección a la comunidad, como por la aplicación en el campo académico, como herramienta de trabajo en cursos dirigidos al estudio del patrimonio cultural.

Agradecimientos

Este artículo es producto de la tesis doctoral “La construcción social del patrimonio urbano y arquitectónico en la ciudad de San José, Costa Rica. Estrategias para su conocimiento” [19]. Se agradece al Instituto Tecnológico de Costa Rica por la beca otorgada a la autora, que permitió realizar estos estudios doctorales en la Universidad de Sevilla entre los años 2015 y 2018.

Referencias

- [1] K. Konsa, «Heritage as a Socio-Cultural Construct: Problems of Definition», *Baltic Journal of Art History*, vol. 6, p. 125, dic. 2013, doi: 10.12697/bjah.2013.6.05.
- [2] C. M. Zamora Hernández, *Circuito de Turismo Cultural Distrito Catedral, Ciudad de San José*. San José, Costa Rica: Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, 2013.
- [3] C. M. Zamora Hernández, *Circuito de Turismo Cultural Paseo Colón (Distritos Merced y Hospital)*. San José, Costa Rica: Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, 2011.
- [4] C. M. Zamora Hernández y G. A. Vargas Cambronero, *Circuito de Turismo Cultural Distrito el Carmen, Ciudad de San José*. San José, Costa Rica: Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, 2009.
- [5] O. Sanou Alfaro, Ed., *Costa Rica: Guía de Arquitectura y Paisaje*. Sevilla, España / San José, Costa Rica: Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Vivienda / Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2010.
- [6] O. Sanou Alfaro, *Arquitectura e historia en Costa Rica: templos parroquiales en el Valle Central, Grecia, San Ramón y Palmares (1860-1914)*. San José, Costa Rica: Editorial UCR, 2001.
- [7] K. García Baltodano, «El patrimonio cultural como base para un modelo de desarrollo endógeno. La herencia cultural del Período Liberal en Costa Rica (1870-1940) como capital cultural. Un estudio de caso», Tesis de Doctorado, Facultad de Filosofía y Letras, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, 2015.
- [8] S. Valencia Abundiz, «Elementos de la construcción, circulación y aplicación de las representaciones sociales», en *Representaciones sociales. Teoría e investigación.*, T. Rodríguez Salazar y M. de L. García Curiel, Eds., Guadalajara, México: Editorial CUCSH-UdeG, 2007, pp. 51-88.
- [9] S. Moscovici, *El psicoanálisis, su imagen y su público*. Buenos Aires: Huemul, 1979.
- [10] J. Valencia y F. Elejabarrieta, «Aportes sobre la explicación y el enfoque de las representaciones sociales», en *Representaciones sociales. Teoría e investigación.*, T. Rodríguez Salazar y M. de L. García Curiel, Eds., Guadalajara, México: Editorial CUCSH-UdeG, 2007, pp. 89-136.
- [11] S. Moscovici, *Le rappresentazioni sociali*. Bologna: Il Mulino, 2005.
- [12] R. Guha, *Las voces de la historia y otros estudios subalternos*. Barcelona: Crítica, 2002.
- [13] S. Mosler, «Everyday heritage concept as an approach to place-making process in the urban landscape», *J Urban Des (Abingdon)*, vol. 24, n.º 24, pp. 778-793, feb. 2019, doi: <https://doi.org/10.1080/13574809.2019.1568187>.
- [14] S. Moscovici, «Il fenomeno delle rappresentazioni sociali», en *Rappresentazioni sociali*, S. Moscovici y R. M. Farr, Eds., Bologna: Il Mulino, 1989, pp. 23-94.
- [15] D. Jodelet, «La representación social: fenómenos, concepto y teoría», en *Psicología social II. Pensamiento y vida social. Psicología social y problemas sociales.*, S. Moscovici, Ed., Barcelona: Paidós, 1985.

- [16] S. P. L. de C. Guedes, M. Schwarz, C. D. Piva, D. da R. Bandeira, M. N. Carelli, y T. M. R. Moraes, «The heritage desires of society through social representations», *International Journal of Cultural Policy*, vol. 29, pp. 284-298, 2022, doi: doi:10.1080/10286632.2022.2049768.
- [17] R. E. Malavassi-Aguilar, «La costruzione del concetto di beni culturali in Costa Rica», en *XIV Congresso Internazionale di riabilitazione del patrimonio. La conservazione del patrimonio artistico, architettonico, archeologico e paesaggistico.*, V. D. Porcari, Ed., Matera, Italia: Luciano Editore, 2018, pp. 1723-1736.
- [18] A. Silva, *Imaginario urbano: hacia la construcción de un urbanismo ciudadano. Metodología*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [19] R. E. Malavassi Aguilar, «La construcción social del patrimonio urbano y arquitectónico en la ciudad de San José, Costa Rica. Estrategias para su conocimiento.», Tesis Doctorado en Arquitectura, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción. Universidad de Sevilla, 2018.
- [20] J. I. Ruiz Olabuénaga, *Metodología de la investigación cualitativa*. Bilbao: Universidad de Deusto, 2012.
- [21] M. Waisman, *El interior de la historia: historiografía arquitectónica para uso de latinoamericanos*. Bogotá: Escala, 1990.
- [22] O. Sanou Alfaro y F. Quesada Avendaño, «Orden, progreso y civilización (1871-1914). Transformaciones urbanas y arquitectónicas.», en *Historia de la Arquitectura en Costa Rica*, E. Fonseca y J. E. Garnier, Eds., San José, Costa Rica: Fundación Museos del Banco Central, 1998, pp. 219-382.
- [23] E. Fonseca y J. E. Garnier, Eds., *Historia de la Arquitectura en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Fundación Museos del Banco Central, 1998.
- [24] A. González Chaves y F. González Vásquez, *La casa cósmica talamancaña y sus simbolismos*. San José, Costa Rica: EUNED, 2008.
- [25] R. E. Malavassi Aguilar, «La vivienda de madera de los Barrios Luján-El Cerrito y Barrio Keith (1910-1955). Un análisis histórico de la imagen urbana y la arquitectura habitacional», Tesis de Maestría en Historia, Universidad de Costa Rica, 2014.
- [26] «Página de Facebook Amantes de Casas Antiguas CR». [En línea]. Disponible en: <https://www.facebook.com/groups/AmantesCasasAntiguasCR/>
- [27] «Página de Facebook Arquitectura Histórica Movimiento Moderno en Costa Rica». [En línea]. Disponible en: <https://www.facebook.com/modernismoCR/>
- [28] I. Vives Luque, *Ciudad Universitaria Rodrigo Facio Brenes Universidad de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2024.
- [29] I. Vives Luque, *Pioneros de la Arquitectura Moderna en Costa Rica*, 2.ª ed. San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2018.
- [30] L. A. Monge Calvo, *Brutalismo en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2019.
- [31] M. del C. Araya Jiménez, *San José. De "París en miniatura" al malestar en la ciudad. Medios de comunicación e imaginarios urbanos*. San José, Costa Rica: EUNED, 2010.
- [32] F. Quesada Avendaño, *La modernización entre cafetales. San José, 1880-1930*. San José, Costa Rica: Editorial UCR, 2011.
- [33] «Página de Facebook Fotografías antiguas de Costa Rica». [En línea]. Disponible en: <https://www.facebook.com/fotosantiguascr/>

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

La autora aquí firmante declara que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.

Estudio de dinámica de fluidos como medio de conservación programada del patrimonio, aplicado a la Casa de la Cultura de Liberia

Investigation into fluid dynamics for programmed conservation of heritage, applied to the Casa de la Cultura in Liberia

Enmanuel Salazar-Ceciliano¹, Marco-Antonio Barrantes-Elizondo²

Salazar-Ceciliano, E; Barrantes-Elizondo, M.A. Estudio de dinámica de fluidos como medio de conservación programada del patrimonio, aplicado a la Casa de la Cultura de Liberia. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Instituto TEC. Pág. 20-31.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8287>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 ensalazar@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0003-0304-7173>

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 ma.barrantes@estudiantec.cr
 <https://orcid.org/0009-0001-6816-0815>



Palabras clave

Patrimonio cultural; arquitectura; bioclimatología; simulación; ventilación.

Resumen

La conservación programada representa un cambio de paradigma en cómo se mantienen las edificaciones patrimoniales. Implica que en lugar de intervenir un inmueble hasta que presenta daños visibles, se monitoreen los fenómenos potenciales causantes de lesiones y se programen acciones de conservación para evitar daños. Los softwares de dinámica de fluidos asistidos por computadora (CFD por sus siglas en inglés) son popularmente utilizados en análisis energéticos y de confort en espacios, pero al ser capaces de mostrar los flujos de aire en los inmuebles, también pueden funcionar para pronosticar o explicar daños causados por problemas en la ventilación. Este artículo pretende mostrar la metodología utilizada en el análisis de los flujos de la ventilación natural dentro de la Casa de la Cultura de Liberia en Costa Rica, utilizando el software AUTODESK CFD Ultimate y el protocolo de análisis de información desarrollado por Victor Fuentes Freixanet y Manuel Rodríguez Viqueira. Asimismo, los resultados planteados en este documento refuerzan la idea de que los objetos arquitectónicos están intrínsecamente vinculados a su entorno, por lo tanto, antes de planificar cualquier intervención en una edificación existente, es esencial examinar las variables contextuales. El documento tiene como marco el proyecto de investigación “La incidencia del uso de la tierra de la Ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación.” desarrollado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en cooperación con la Asociación para la Cultura de Liberia.

Keywords

Cultural heritage; architecture; bioclimatology; simulation; ventilation.

Abstract

Programmed conservation represents a significant shift in how heritage buildings are maintained. Instead of waiting for visible damage to occur before taking action, this approach focuses on monitoring potential risks that could cause harm and scheduling conservation measures proactively. Computer fluid dynamics (CFD) software is often employed in energy and comfort analyses of spaces, but its capability to visualize airflow in buildings makes it valuable for predicting or explaining damage resulting from issues related to natural ventilation. This article outlines the methodology used to analyze natural ventilation flows within the Casa de la Cultura of Liberia in Costa Rica, using AUTODESK CFD Ultimate software and a data analysis strategy developed by Victor Fuentes Freixanet and Manuel Rodríguez Viqueira. Additionally, the findings emphasize that architectural structures are inherently connected to their surroundings. Therefore, before planning any intervention in an existing building, it is crucial to consider contextual variables. This project is part of the research initiative titled “The Impact of Using Liberia City’s Soil as a Construction Material on the Hygrothermal Performance of Internal Spaces through Simulation Techniques,” developed by the Instituto Tecnológico de Costa Rica in collaboration with the Association for the Culture of Liberia.

Introducción

Los enfoques de cómo gestionar la conservación de los bienes patrimoniales han evolucionado con el tiempo. Actualmente, se está dejando de lado la visión de solo intervenir cuando se detecta un daño visible en el objeto, y en su lugar está tomando fuerza la visión de programar en el tiempo acciones que prevengan la aparición de lesiones, tomando como referencia la influencia que el entorno puede tener en el deterioro de los materiales. Esta postura se conoce como conservación programada y se ha venido desarrollando desde 1976 gracias a los aportes del crítico del arte italiano Giovanni Urbani [1]. Los objetos arquitectónicos de valor histórico no son ajenos a esta visión pues los elementos que los componen están en contacto directo con el ambiente, esto los puede llevar a dañarse con mayor facilidad, especialmente si se toma en consideración lo variable que se ha vuelto el entorno a raíz del cambio climático. [2]

Es por lo anteriormente expuesto que se deben realizar procesos de análisis que determinen el nivel de influencia que ejerce cada uno de los factores del sitio sobre el inmueble y las potenciales pérdidas que pueden ocurrir debido a características climáticas específicas [3] con el fin de garantizar la preservación de los bienes históricos y maximizar en el tiempo las inversiones realizadas.

El flujo del viento es un factor de afectación al que hay que prestarle importante atención ya que provoca procesos de erosión de materiales, principalmente en arquitectura en tierra [4]; facilita la distribución de esporas en el espacio, lo que ocasiona problemas de salud en los usuarios y proliferación de hongos [5]; además de generar afectaciones en el confort.

El Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) recomienda el uso de herramientas científicas como los análisis de dinámica de fluidos por computadora (CFD por sus siglas en inglés) para ayudar a los profesionales en las labores de gestión de inmuebles patrimoniales [6]. Los análisis en CFD a nivel mundial están siendo utilizados en el campo de la conservación para determinar el flujo del viento dentro de edificaciones y la dispersión de partículas en un espacio, entre otros. [7]

La ciudad de Liberia (figura 1) se ubica en la región más seca y calurosa del pacífico norte costarricense. Su arquitectura tradicional presenta ciertas particularidades de adaptación climática, como lo son el uso de corredores, patios internos, puertas de sol (puertas de acceso en la esquina de la edificación) y el uso de sistemas constructivos en tierra [8] (sistemas de alta inercia térmica que retrasan el paso del calor al interior del inmueble), lo que las hace particularmente vulnerables a la acción del viento y la lluvia. La Casa de la Cultura de Liberia, por su parte, es una edificación ubicada en el sector antiguo de la ciudad, levantada a partir de técnicas de adobe y bahareque que representan fielmente el esquema arquitectónico de la época [9]. Fue declarada patrimonio histórico en abril de 1989. Actualmente funciona como sede de la Asociación para la Cultura de Liberia y está a la espera de someterse a una fase de restauración para poder reabrirla a la comunidad.

Como se observa en la figura 2, la Casa de la Cultura de Liberia se encuentra en un lote esquinero, y tiene planta de “L”, por lo que cuenta con dos fachadas expuestas a la vía pública (noreste y noroeste) y otras dos expuestas al patio de la propiedad (sureste y suroeste). A lo interno, el espacio está compartimentado en cuatro ambientes, dos en el ala noreste, una galería interna en forma de “L” que conecta todas las habitaciones y un núcleo de baños en el ala noreste el cual constituye una ampliación de la estructura original. Las habitaciones del sector noreste cuentan con vanos sin vidrio que conectan con el exterior, los cuales pueden cerrarse por medio de porticones de madera. En el sector de la galería en “L” los vanos configuran unas ventilas alargadas en el eje horizontal ubicados en la parte superior del muro, las cuales además se encuentran cubiertas por rejillas de madera que impiden obstaculizan la

visual desde la calle. La cubierta es de teja de barro con cerchas de madera, no presenta cielo raso y los aleros no sobrepasan los 60cm, lo que deja los muros expuestos a la lluvia y el viento, situación que se evidencia en las manchas de humedad visibles desde el exterior.



Figura 1. Fotografías internas y externas de la Casa de la Cultura de Liberia. Fuente: Proyecto “La construcción social del Centro Histórico de la ciudad de Liberia como un insumo para su gestión sostenible” del Instituto Tecnológico de Costa Rica

Las construcciones circundantes son todas de un nivel, es decir no superan los 3.5m de altura. El entorno se caracteriza por la presencia de árboles de mediano y gran tamaño, principalmente al norte y noreste, así como en el patio de la propiedad.

Este artículo se enmarca en el proyecto de investigación “La incidencia del uso de la tierra de la Ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación.” desarrollado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en cooperación con la Asociación para la Cultura de Liberia, y busca evaluar la ventilación natural en la Casa de la Cultura de Liberia para determinar su flujo y cómo este puede afectar los procesos de conservación del inmueble y el confort de los usuarios.



Figura 2. Toma satelital de contexto inmediato y planta de distribución de la Casa de la Cultura de Liberia a una altura. Planta de autoría propia. Imagen satelital extraída de Google Earth.

Materiales y métodos

Antes de realizar el análisis en CFD es necesario obtener los datos meteorológicos de la zona de estudio. En este caso, toda la información relacionada con el comportamiento climático proviene del sitio web “Climate.OneBuilding.Org”. Este sitio web genera un archivo cargado de metadatos en formato “.epw” que se alimenta de la información tomada entre el 2009 y el 2023 de la torre meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós a 11 km lineales al oeste del punto de interés.

Seguidamente se importa el archivo “.epw” en el programa “Climate Consultant 6.0” para poder visualizar la información climática a través de tablas de datos y gráficos que resumen la información obtenida, como son las humedades, velocidades del viento según una temporalidad determinada o direcciones de este.

Se utiliza el método desarrollado por Fuentes Freixanet y Rodríguez Viqueira, el cual ha sido aplicado posteriormente por Salazar-Ceciliano, en donde la densificación o la cantidad de edificios y sus alturas, incluso la cantidad y el tipo de vegetación, son relevantes en el factor de rugosidad del terreno y como este altera la velocidad del viento [10] [11].

Como se observa en el cuadro 1, en los lugares en donde el factor de rugosidad es alto, la capa límite (altura en la que el contexto no repercute en la velocidad del viento) es muy elevada, mientras que en los lugares con baja rugosidad la capa límite es mucho más próxima a la superficie. Se utiliza entonces esta metodología, la cual aplica procedimientos de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) para realizar correcciones a los datos de velocidad de viento obtenidos [10] [11].

Según ASHRAE [12] para determinar el efecto de la rugosidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{ref} = A_0 * V_{met}$$

Donde:

V_{ref} = Velocidad de referencia estimada (m/s)

A_0 = Constante de rugosidad

V_{met} = Velocidad meteorológica media (m/s)

La velocidad meteorológica corresponde a los datos obtenidos por la torre meteorológica y la constante de rugosidad está sujeta al sitio que se va a estudiar y se puede aproximar con la siguiente ecuación [12]:

$$A_0 = 1,291^{-0.005214(\delta-250)}$$

Donde:

A_0 = Constante de rugosidad

δ = Altura de capa límite (m)

Posterior a obtener la corrección de rugosidad se debe aplicar la corrección correspondiente a la altura, ya que usualmente los datos de viento obtenidos por las estaciones meteorológicas son calculados a 10 m sobre la superficie del terreno. Para calcularlo se utiliza la siguiente ecuación [12]:

$$V_H = V_{met} \left[\frac{\delta_{met}}{H_{met}} \right]^{a_{met}} \left[\frac{H}{\delta} \right]^a$$

Donde:

V_H = Velocidad del viento a la altura H (m/s)

V_{met} = Velocidad meteorológica (m/s)

δ_{met} = Capa de fricción en la estación meteorológica (m/s)

H_{met} = Altura meteorológica (m) (~10)

a_{met} = Exponente de velocidad media en la estación (~0,14)

a = Exponente de velocidad en el sitio

H = Altura de cálculo (m)

δ = Capa de fricción en el sitio (m)

En este proyecto se utilizó el programa Autodesk CFD Ultimate 2024, software especializado en la generación de análisis para la predicción del comportamiento de líquidos y gases [13], para simular el flujo de la ventilación de la Casa de la Cultura de Liberia y su contexto inmediato.

El modelo del inmueble se realizó en el programa Revit 2024. Es necesario que el modelo esté construido de una forma simplificada, a un nivel de detalle LOK 100, en donde únicamente existan los vanos en las paredes y no las familias correspondientes a puertas y ventanas. Este modelo luego fue cargado En Autodesk CFD Ultimate, donde se realizaron 50 iteraciones con la dirección predominante del viento proveniente del noreste según los datos meteorológicos consultados, tomando como referencia la velocidad de viento corregida por rugosidad y altura.

Cuadro 1. Constantes para calcular correcciones de velocidad de viento según capa límite.

Tipo de Terreno	Alturas de obstrucciones (m)	Capa de fricción o altura de capa límite (m)	Constante de rugosidad	Longitud de rugosidad (m)	Exponente de velocidad media
		δ			α
Grandes centros urbanos en los que al menos el 50% de los edificios tienen una altura mayor de 25 m de, con una distancia de al menos 0.8 km o 10 veces la altura de la estructura de barlovento, lo que sea mayor.	Mayor a 25	460	0,43	2	0,33
Áreas urbanas o suburbanas, áreas boscosas u otros terrenos con numerosos espacios cercanos con obstrucciones del tamaño de una vivienda unifamiliar o más grande, en una distancia de 460 m o 10 veces la altura de la estructura a barlovento, lo que sea mayor.	10-25	370	0,7	0,65	0,22
Terreno abierto con obstrucciones dispersas con alturas generalmente menores de 10 m incluyendo campo abierto típico de los alrededores de una estación meteorológica.	Menor a 10	270	1,16	0,05	0,14
Zonas planas sin obstáculos expuestas al viento, fluyendo sobre el agua por al menos 1.6 km, o sobre una distancia de 460 m o 10 veces la altura de la obstrucción tierra adentro, lo que sea mayor.		210	1,59	0,01	0,1

Fuente: [12].

Resultados

Según los datos consultados la velocidad del viento promedio corresponde a 2,33 m/s a 10 m sobre la superficie terrestre en la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós [14]. Luego de aplicada la metodología de correcciones se obtuvo una velocidad de 1,1m/s a una altura de 1,5m en el centro histórico de la ciudad de Liberia.

A nivel contextual, las figuras 3 y 4 muestran que, a pesar de que la simulación fue realizada tomando como referencia una velocidad de 1,1 m/s, la configuración urbana genera un efecto Venturi que hace que en algunos sectores se alcancen velocidades de hasta 3 m/s. El viento tiene una dirección predominante desde el noreste, más sin embargo las edificaciones ubicadas en este sector crean una sombra de viento que origina que la fachada noreste de la Casa de la Cultura de Liberia esté en presión negativa. En el sector noroeste el flujo de viento es paralelo a la fachada. El patio, al estar en sotavento, mantiene una presión negativa, y podría ser un sector importante de extracción del aire interno.

A nivel interno, las velocidades no superan los 1,3 m/s. En la figura 5 se observa como a nivel interno el flujo de la ventilación no es homogéneo. Las zonas en negro cuentan con una velocidad de aire mínima, mientras que las mayores velocidades se dan cerca de las puertas por el aumento de presión. La puerta de sol es el principal punto de entrada de aire a la casa, mientras que por las aperturas del sector noreste el flujo es mínimo. Las ventilas ubicadas en el sector de galería en “L” son tan estrechas que aceleran la velocidad del viento (figura 8). Esto provoca que a nivel interno el aire corra de forma transversal, favoreciendo el proceso de ventilación cruzada en este sector (figuras 6,7 y 9). Los puntos de salida de aire en ese sector son la puerta y las ventilas que comunican con el patio. En el caso de las habitaciones, el viento tiende a salir por los vanos ubicados en la fachada noreste, lo que confirma que esta fachada se encuentra en presión negativa. (figuras 5,6,7 y 9)

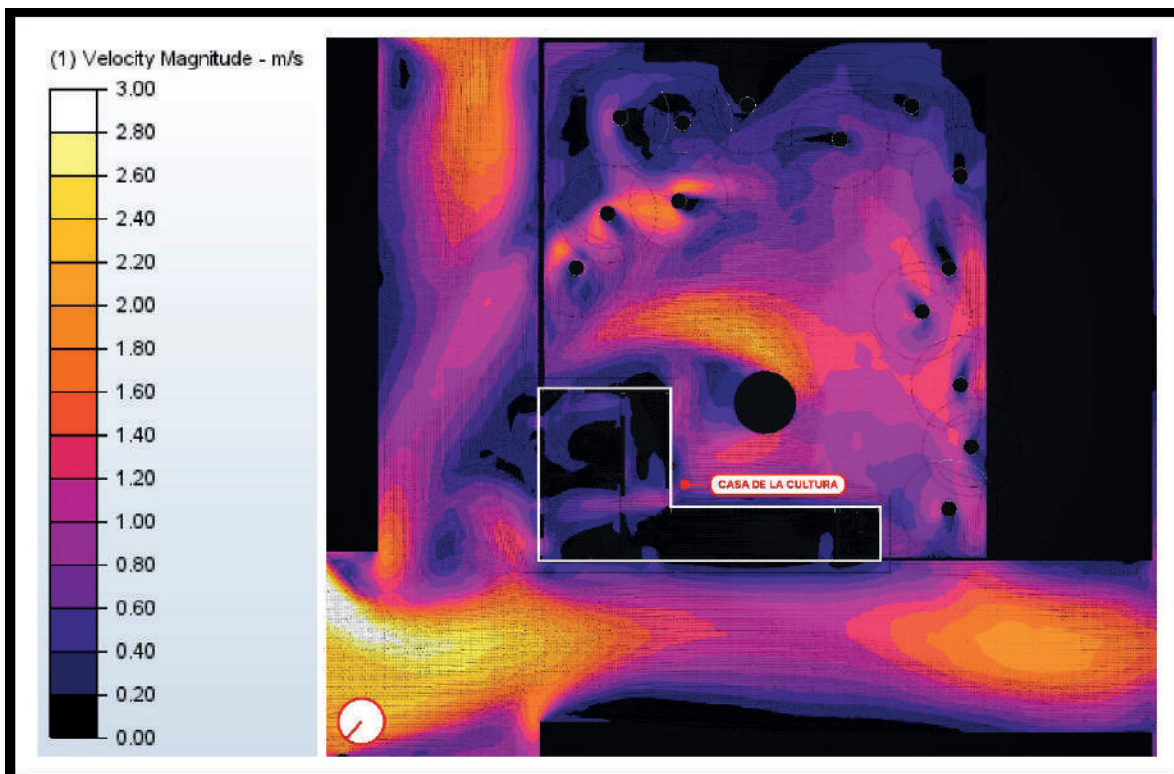


Figura 3. Simulación de viento del contexto inmediato de la Casa de la Cultura de Liberia a una altura de 1.5 metros sobre el nivel de la acera terminada. Autoría propia con el software AUTODESK CFD.

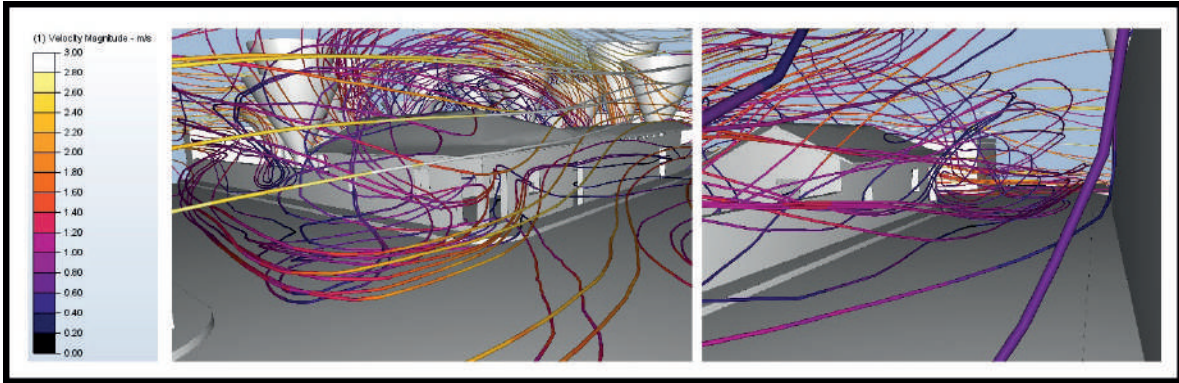


Figura 4. Visualización de flujo de viento a nivel contextual de la Casa de la Cultura de Liberia. Autoría propia con software AUTODESK CFD.

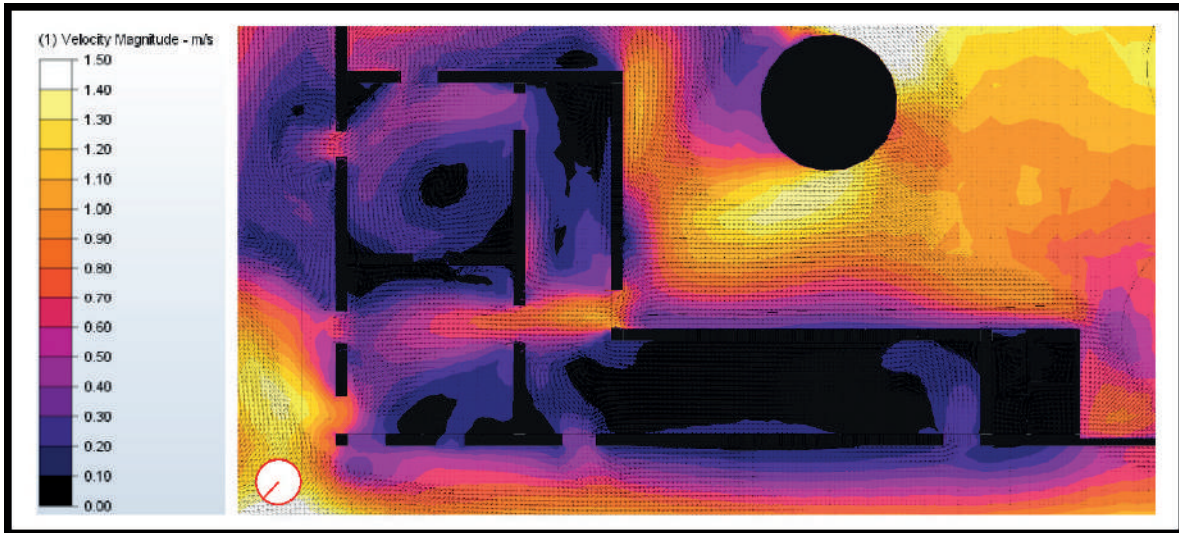


Figura 5. Simulación de viento de la planta de la Casa de la Cultura de Liberia a una altura de 1.5 metros sobre el nivel de piso terminado. Autoría propia a partir del software AUTODESK CFD.

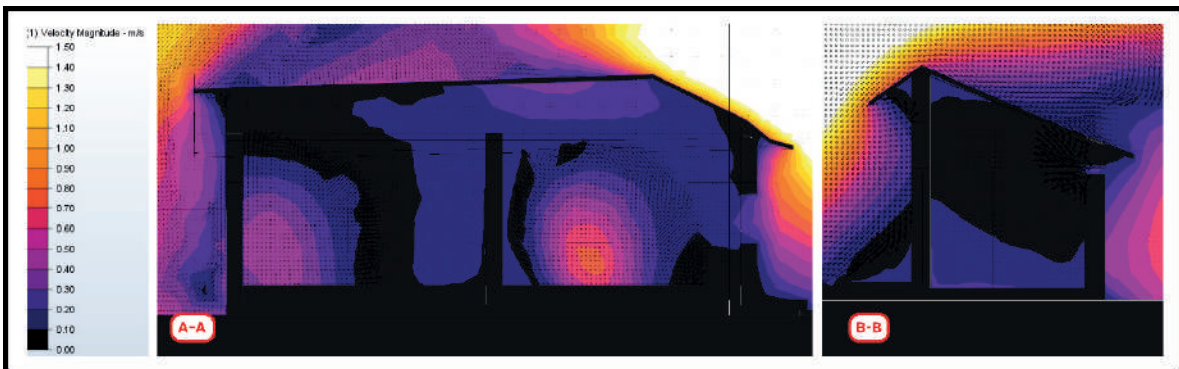


Figura 6. Simulación de viento de la sección A-A y B-B de Casa de la Cultura de Liberia. Autoría propia a partir del software AUTODESK CFD.

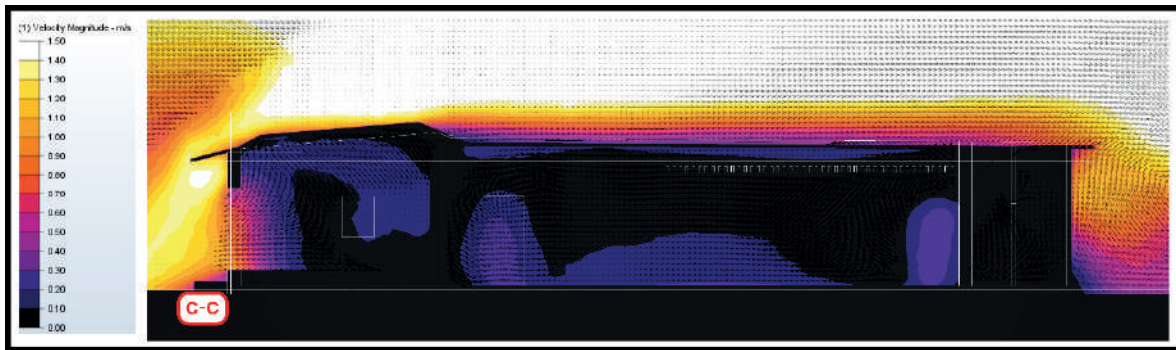


Figura 7. Simulación de viento de la sección C-C de la Casa de la Cultura de Liberia. Autoría propia a partir del software AUTODESK CFD.



Figura 8. Simulación de viento de la sección D-D de la Casa de la Cultura de Liberia. Autoría propia a partir del software AUTODESK CFD.

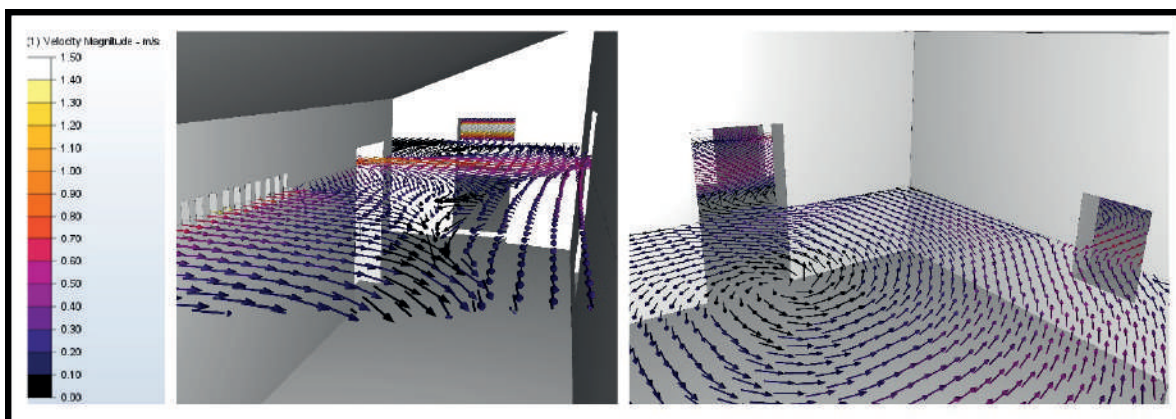


Figura 9. Ampliación de la simulación de viento en galería en “L” y habitación 2. Autoría propia a partir del software AUTODESK CFD.

Discusión

A pesar de que, a nivel de configuración de la envolvente la edificación cumple con los principios de ventilación cruzada al tener aperturas en fachadas opuestas [15], la compartimentación interna y las dinámicas del entorno imposibilitan que este proceso de ventilación natural se lleve a cabo en todos los espacios de la vivienda. Además, la configuración de las aperturas hace que el proceso de ventilación existente dependa de que las puertas estén siempre abiertas.

La mayor parte del espacio interno presenta velocidades inferiores a 0.6m/s, lo que, dadas las altas temperaturas de la zona, constituye una magnitud muy baja si se desea coadyuvar a los procesos de termorregulación del cuerpo de los ocupantes únicamente con ventilación natural. Además, la figura 4 muestra que la mayor parte de las esquinas de los espacios presentan calmas de viento, lo que favorece la acumulación de humedad y la generación de lesiones derivadas de la misma.

A nivel externo, la fachada suroeste está completamente expuesta a la acción del viento y el agua, lo que se evidencia con lesiones presentes en el muro, como los son manchas de arrastre, erosión del material, entre otros.

Se entiende que la edificación en estudio puede responder a condiciones del entorno que no son las actuales, y que por su declaratoria de protección no puede ser sometida a cambios que afecten su imagen histórica, pero es importante considerar en su intervención los siguientes aspectos:

- Generar una ventila en el tapichel de la habitación 2 para propiciar una ventilación interna por medio del fenómeno stock, es decir, que el aire caliente pueda salir por medio de aperturas ubicadas en la parte superior del espacio. Esto no afectaría la imagen del inmueble, ya que el tapichel no es apreciable fácilmente desde la vía pública, y podría generar nuevos flujos internos de viento.
- Revisar el diseño de las rejillas de las ventilas actuales con el objetivo de aumentar el caudal de aire que entra y sale del interior.
- Las variables del entorno imposibilitan que todas las fachadas que dan a la vía pública estén en presión positiva para garantizar la entrada de aire por todas las aperturas de la envolvente, por lo que se debe considerar un sistema de ventilación mixto que incorpore elementos de bajo consumo energético como ventiladores.
- Monitorear los niveles de humedad y temperatura en el interior del espacio para determinar los momentos del día en que los elementos abatibles de la envolvente (puertas y porticones) deban estar abiertos, así como cuando se deben encender los elementos activos.

Conclusiones

El estudio demuestra como el análisis de la ventilación natural mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD) es fundamental para comprender como una edificación se relaciona con su entorno, permitiendo identificar oportunidades de mejora del espacio a futuro. En el caso particular de la Casa de la Cultura de Liberia, se ha observado como, a pesar de cumplir con principios teóricos, los procesos de ventilación natural son deficientes, lo que refuerza la necesidad de utilizar análisis de CFD antes de cualquier intervención para corroborar los eventos climáticos propios de un sitio. Además, el ejercicio demuestra que los objetos arquitectónicos no son elementos aislados de su entorno y que antes de empezar a diseñar o plantear cualquier intervención de una edificación existente, es fundamental analizar las variables del contexto.

El análisis presentado en este documento se limita a analizar únicamente el movimiento del aire, por lo que sería importante complementar con estudios de temperatura y humedad a nivel interno para corroborar la efectividad de otras estrategias pasivas y técnicas constructivas. Asimismo, la investigación establece las bases para desarrollar estrategias de conservación a futuro y revisar las propuestas de intervención existentes.

Referencias

- [1] E. Salazar-Ceciliano y R. E. Malavassi-Aguilar, «La conservación programada y su aplicación en la arquitectura: un análisis bibliométrico,» *Tecnología en marcha*, vol. 33, n° 8, pp. 79-88, 2020. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i8.5511>
- [2] Climate Change and Cultural Heritage Working Group International Council on Monuments and Sites - Icomos Paris, «The future of our pasts: engaging cultural heritage in climate action,» Icomos, París, 2019.
- [3] H.-H. Hsu y J.-S. Huang, «Passive Environmental Control at Neighborhood and Block Scales for Conservation of Historic Settlements: The Case Study of Huatzai Village in Wang-An, Taiwan,» *Sustainability*, vol. 14, n° 11840, 2022. <https://doi.org/10.3390/su141911840>
- [4] A. S. Hussein y H. El-Shishiny, «Influences of wind flow over heritage sites: A case study of the wind environment over the Giza Plateau in Egypt,» *Environmental Modelling & Software*, vol. 24, n° 3, pp. 389-410, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.08.002>
- [5] N. Mesquita, F. Soares, H. Paiva de Carvalho, J. Trovao, Pinheiro A., I. Tiago y A. Brizon Portugal, «Air and wall mycobiota interactions—A case study in the Old Cathedral of Coimbra,» de *Viruses, Bacteria and Fungi in the Built Environment: Designing Healthy Indoor Environments*, F. Pacheco-Torgal, V. Ivanov y J. O. Falkinham, Edits., Woodhead Publishing, 2022, pp. 101-125. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85206-7.00011-3>
- [6] P. Jerome, «Recommendations from the ICOMOS Scientific Council Symposium: Changing World, Changing Views of Heritage: Technological Change and Cultural Heritage,» ICOMOS, Valletta, 2009.
- [7] S. Zhang, K. C. Kwok, H. Liu, Y. Jiang, K. Dong y B. Wang, «A CFD study of wind assessment in urban topology with complex wind flow,» *Sustainable Cities and Society*, vol. 71, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103006>
- [8] D. Chang-Albizurez y R. E. Malavassi-Aguilar, «Centro histórico de Liberia, diagnóstico arquitectónico y urbano,» *Tecnología en marcha*, vol. 36, n° Número especial, pp. 6-19, 2023. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i9.6953>
- [9] «N° 18896-C Declaratoria patrimonial,» *La Gaceta*, n° 64, 3 abril 1989.
- [10] V. Fuentes Freixanet y M. Rodríguez Viqueira, Ventilación natural: cálculos básicos para arquitectos, Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2004.
- [11] E. Salazar-Ceciliano, «Análisis de flujo de ventilación mediante software de CFD como mecanismo de conservación del patrimonio, aplicado a la Antigua Capitanía de Puerto Limón,» *Tecnología en marcha*, vol. 33, n° 8, pp. 61-70, 2020. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i8.5509>
- [12] American Society of Heating, Refrigerator, and Air Conditioning Engineers, «ASHRAE Handbook, Fundamentals,» Atlanta, 2017.
- [13] AUTODESK, «AUTODESK CFD,» [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/products/cfd/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=SCFDM>. [Último acceso: 21 Febrero 2025].
- [14] Climate.OneBuilding, «Climate.OneBuilding.org,» 4 Noviembre 2024. [En línea]. Available: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_4_North_and_Central_America/CRI_Costa_Rica/index.html. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].
- [15] J.-Y. Deng, Y. Xia, H. Lao, Y. Ye, Z. Wang y H. Jiang, «Natural ventilation potential of teaching building complexes with different block shapes and layout patterns,» *Journal of Building Engineering*, vol. 96, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110420>

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)


Para la revisión gramatical y ortográfica de este artículo, empleamos la herramienta de IA Copilot. Esta nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista..


Análisis morfológico y evolutivo de las viviendas en asentamientos informales, aplicado en la comunidad de Vida Nueva

Morphological and housing evolutionary analysis in informal settlements, applied to the community of Vida Nueva

Valeria Murillo-Viquez¹

Murillo-Viquez, V. Análisis morfológico y evolutivo de las viviendas en asentamientos informales, aplicado en la comunidad de Vida Nueva. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 32-45.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8288>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Costa Rica.
 valeriamurivi@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-6114-5826>



Palabras clave

Tipología de vivienda; autoconstrucción; vivienda popular; proceso evolutivo de la vivienda informal; ciclo familiar.

Resumen

Las soluciones de vivienda de interés social para la atención de asentamientos informales son frecuentemente modificadas, expandidas o abandonadas por las propias personas beneficiarias, lo que demuestra una falta de comprensión y valorización de los requerimientos de las familias atendidas. El presente artículo deriva del Trabajo Final de Graduación: *Historias Materializadas: Instrumento para el análisis morfológico y evolutivo de las viviendas en asentamientos informales aplicado en la comunidad de 'Vida Nueva' en Concepción de La Unión de Cartago, Costa Rica*. El análisis se realiza a partir de la triangulación de datos con base en el llenado de fichas de campo, entrevistas semiestructuradas con las familias y la consulta de datos institucionales. Mediante el análisis de casos de estudio en la comunidad de Vida Nueva, se revela una forma de autoconstrucción progresiva que se amolda a las necesidades espaciales cambiantes de las familias, así como a sus capacidades técnicas y de financiamiento a través del tiempo, lo que deriva en el entendimiento de la vivienda como verbo más que como sustantivo. Se concluye con 15 pautas de diseño que orientan el planteamiento de soluciones arquitectónicas en asentamientos informales, mejor adaptadas a las necesidades, posibilidades y expectativas de las familias en estas comunidades.

Keywords

Housing typology; self-construction; low-income housing; evolution of self built-housing; family life cycle

Abstract

Social housing solutions for informal settlements are frequently modified, expanded, or abandoned by the homeowners themselves, demonstrating a lack of understanding and appreciation of the demands of the beneficiary families. This article stems from the Final Graduation Project: *Materialized Stories: An Instrument for the Morphological and Housing Evolution Analysis in Informal Settlements, applied to the Community of 'Vida Nueva' located in Concepción, La Unión, Cartago, Costa Rica*. The analysis is conducted through data triangulation based on field record forms, semi-structured interviews with the families, and the review of institutional data. Through the case study analysis in the community of Vida Nueva, the research reveals a form of progressive self-construction that adapts to the evolving spatial needs of the families, as well as their technical and financial capacities over time, which leads to an understanding of housing as a *verb* rather than as a *noun*. The study concludes with 15 design guidelines aimed at informing the development of architectural solutions for informal settlements that are better suited to the needs, possibilities, and expectations of families in these communities.

Introducción

Los asentamientos informales en Costa Rica son constantemente invisibilizados a pesar de que se registran más de 576 de estas comunidades [1], las cuales se integran a los tejidos urbanos a lo largo de todo el territorio nacional, sin embargo, su morfología y proceso evolutivo

permanecen poco estudiados [2]. Más allá de la escala local, la informalidad es un fenómeno de carácter global, afectando a aproximadamente un cuarto de la población mundial [3], por lo que se han desarrollado diversas estrategias que buscan dar solución al problema.

Estas estrategias van desde la erradicación o desalojo, la reubicación de las familias ya sea en proyectos de vivienda de interés social o mediante deportaciones y subsidios estatales para alquiler o compra de vivienda, la entrega de bonos de vivienda, proyectos de redesarrollo en sitio, programas de autoconstrucción, planes integrales de mejoramiento de barrios, proyectos de acupuntura urbana, diversas tipologías de vivienda en torres, vivienda progresiva, urbanizaciones horizontales, entre otras [4]. La lista es extensa, sin embargo, aún se continúan buscando soluciones más integrales, adaptadas y sostenibles para dar respuesta a la inmensa necesidad de vivienda, que se ve limitada por reglamentaciones rígidas y desactualizadas, la falta de regulación del mercado de suelo y la desigualdad social [5].

Específicamente en el tema de la vivienda social, algunos estudios sobre la satisfacción de las familias de asentamientos informales que han sido reubicadas en estos proyectos exponen que las familias beneficiarias tienden a transformar las viviendas adquiridas, aun cuando el proyecto no ofrecía posibilidades de modificación [6]. Incluso, algunas familias han optado por abandonar, alquilar o vender la vivienda debido a factores socioeconómicos, mala ubicación asociada a la falta de acceso a medios de transporte, servicios y oportunidades laborales, falta del sentido de pertenencia o problemas con el vecindario, características inadecuadas de la vivienda como número de habitaciones y poca flexibilidad como es el caso en los apartamentos verticales, así como problemas con la gestión y mantenimiento de la vivienda [7].

Bajo este panorama, se demuestra una falta de comprensión de la cualidad dinámica que caracteriza a la vivienda en los asentamientos informales, la cual finalmente se ve reflejada en la apropiación de la vivienda de interés social en la que se reubica a estas poblaciones. Tal como expone John F.C. Turner, la vivienda en los asentamientos informales es un proceso, o como él lo denomina “housing as a verb” o “la casa como verbo” en español. Entender la vivienda como proceso “responde a la práctica social, a la forma en que la mayor parte de la gente produce su vivienda, de acuerdo con la dinámica de sus recursos, posibilidades, necesidades y sueños” [8]. La comprensión y validación de los procesos urbanos y de producción de la vivienda generados en estas comunidades es clave, ya que a pesar de que regularmente se entienden como caóticos, los asentamientos informales son una forma de diseño y planificación urbana que encarnan un conjunto complejo de lógicas poco comprendidas, en las que se puede esconder la respuesta para poder mejorar la situación de pobreza en la que millones de personas se ven forzadas a vivir [9].

Los esfuerzos por estudiar y comprender los procesos de la Producción Social de la Vivienda (PSV) en el sector informal son relevantes en tanto permiten adaptar los proyectos de vivienda de interés social a los requerimientos de las personas provenientes de asentamientos informales. Se debe rescatar el valor del proceso de autoconstrucción de las viviendas en estas comunidades, indagando en las motivaciones, necesidades, expectativas y mecanismos de toma de decisiones de las familias que en ellos habitan, donde se observa que la construcción, ampliación y mejora de cada vivienda es un proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo, en el que es común el cambio funcional de los espacios a medida que crece la vivienda, se realizan demoliciones y readecuaciones según las necesidades derivadas del crecimiento de la familia o en busca de resolver una necesidad funcional, según lo permita la capacidad económica real del momento [10].

Las estrategias para el mejoramiento de las condiciones habitacionales en asentamientos informales deben derivarse de un trabajo colaborativo entre los técnicos y las familias el cual debe determinar la toma de decisiones a lo largo del proceso, adaptándose a las necesidades

propias y cambiantes de la población en cada comunidad [11]. Para lograr una mejor adaptación de las propuestas de diseño de vivienda social a las necesidades, posibilidades y expectativas de las personas beneficiarias provenientes de asentamientos informales, se requiere del reconocimiento de una lógica morfológica y evolutiva de las viviendas distinta a lo que usualmente se considera desde la formalidad.

Por tal motivo, esta investigación, la cual es una continuación del trabajo realizado por Ramírez para la comprensión de los asentamientos informales en la provincia de Cartago [15], desarrolla un instrumento para la sistematización de diferentes criterios espaciales, sociales y temporales que es aplicado en la comunidad de Vida Nueva, ubicada en Concepción de La Unión de Cartago [12]. A partir del análisis de la morfología y proceso evolutivo de las viviendas aplicado mediante el instrumento en un caso real, se concluye con el establecimiento de pautas de diseño que buscan orientar la toma de decisiones en el mejoramiento de las condiciones habitacionales para familias que habitan en asentamientos informales.

Materiales y métodos

La investigación desarrollada es de tipo aplicada y posee un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), mediante el desarrollo de un instrumento para el estudio del proceso de la Producción Social de la Vivienda en asentamientos informales. Para la recolección de datos en la comunidad en estudio que es Vida Nueva, ubicada en Concepción de La Unión de Cartago, se aplicó la técnica de triangulación metodológica, en la cual se utilizaron diferentes recursos y bases de datos para completar la información.

1. Revisión de imágenes satelitales de Google Earth Pro como base inicial del análisis.
2. Trabajo de campo donde se realizó el levantamiento de datos, fotografías y gráficos que permitieron la tipificación de viviendas en la comunidad según su morfología para la selección de casos de estudio representativos.
3. Revisión y solicitud de datos censales de las instituciones para la obtención de información sobre la composición de los hogares y otros datos de interés.
4. Entrevistas semiestructuradas con las familias para lograr la reconstrucción histórica de la producción social de sus viviendas.

El instrumento se estructura en dos fichas de campo que permiten la recopilación de información de dos categorías principales: la Morfología, la cual se divide en tres subcategorías que presentan consideraciones de los terrenos, las viviendas y los hogares; y el Proceso Evolutivo, el cual se divide en tres subcategorías definidas como proceso constructivo, cambios espaciales y el ciclo familiar. Los criterios de cada subcategoría se definen y diagraman a partir de la revisión documental de 15 autores referentes en el tema [9] [10], y cada criterio se encuentra categorizado por diferentes tipos. El análisis de la morfología fue aplicado a las 103 viviendas identificadas en la comunidad de Vida Nueva, mientras que el proceso evolutivo se centra en el estudio de cuatro casos de estudio representativos que se analizaron con mayor profundidad.

A partir de la ficha de la categoría A) Morfología se deriva la tipología morfológica que permite caracterizar las viviendas de la comunidad para la selección de los casos de estudio. Esto se logra mediante el análisis tipológico, una herramienta ampliamente utilizada en la esfera social, la cual permite resumir la ordenación y reducción de un fenómeno estudiado a un número limitado de categorías, en donde cada tipo se identifica como un modelo o prototipo diferenciado que comparte algún carácter en común [13]. Además, la selección de los casos de estudio para la aplicación de la ficha B) Proceso Evolutivo se fundamenta a su vez en la variable

de temporalidad, en busca de cubrir casos de familias que lleven al menos 10 años de estar asentadas en la comunidad con el fin de documentar el proceso evolutivo de sus viviendas, y principalmente tomando en consideración cuatro criterios morfológicos: las distintas etapas de desarrollo de las viviendas, los tipos de expansión, la composición familiar y los tipos de usuario, mientras que los otros criterios se encuentran de forma simultánea en los casos de estudio.

Resultados

Los resultados del instrumento aplicado se enfocan en el análisis tipo-morfológico de las viviendas para la selección de casos de estudio representativos y la reconstrucción del proceso evolutivo de estas viviendas, lo cual permite visualizar la relación entre la construcción paulatina de los espacios, la capacidad económica de las familias y la dinámica del ciclo familiar, en busca de alcanzar una mejor comprensión de las necesidades, posibilidades y expectativas de las familias sobre la vivienda.

Reseña histórica de Vida Nueva

Como se mencionó anteriormente, el instrumento es aplicado en la comunidad de Vida Nueva, la cual se encuentra ubicada en la provincia de Cartago, cantón La Unión, distrito Concepción, a 150 metros suroeste y 80 metros norte de la Escuela San Francisco, coordenadas 9.926977, -83.991883 (Ver figura 1). Esta es una comunidad extensa con un tamaño que abarca aproximadamente dos cuadras urbanas alcanzando 20 784 m² y que cuenta con una población de 353 personas, 121 núcleos familiares y 114 viviendas [14].

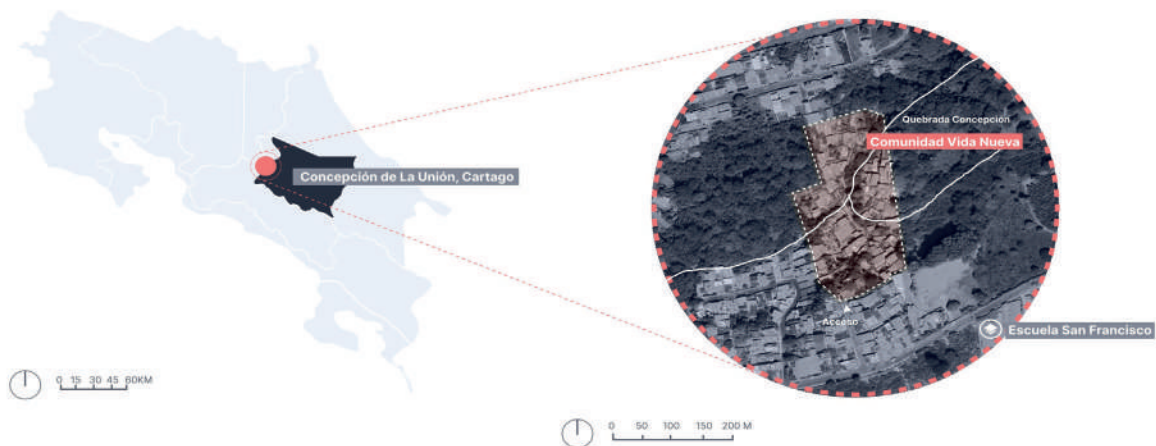


Figura 1. Ubicación de la comunidad de Vida Nueva.

Sin embargo, a diferencia del desarrollo urbano formal, Vida Nueva surgió a partir de un proceso de autogestión que generó una trama urbana atípica que contrasta con la ciudad formal de sus alrededores, mediante el crecimiento lineal a lo largo de una calle vecinal céntrica que se bifurca en calles secundarias (patrón rectilíneo ramificado) para dar acceso a las unidades residenciales, en un terreno originalmente boscoso, escarpado y atravesado por una quebrada [15] (Ver figura 2).



Figura 2. Fotografía de la comunidad de Vida Nueva, tomada en el año 2024.

Históricamente, la comunidad de Vida Nueva es resultado de una invasión que tuvo lugar en el año 1999 en un terreno perteneciente al Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), organizado por los vecinos originarios, que fueron en principio alrededor de unas 29 familias, esta nace a raíz del proyecto de bono de viviendas en la zona sur de la comunidad denominado Concepción 2, a partir del cual se extiende un proceso de informalización y toma de terrenos en la parte norte, que fue poco a poco abarcando la totalidad del terreno del IMAS.

El crecimiento de la comunidad se puede atribuir a tres factores principales: la coordinación con el gobierno local e instituciones que permitió el acceso a servicios básicos como luz y agua, las mejoras en la infraestructura comunitaria realizadas gracias a la intervención de la organización sin fines de lucro TECHO entre el 2010 y el 2012. Esto provocó un periodo de crecimiento entre el 2002 y el 2003, y más tarde entre el 2013 y el 2014 y la construcción de nuevas viviendas que tomaban terrenos cada vez más cercanos a la quebrada Concepción para dar cabida a familiares de los vecinos originarios. La forma de crecimiento y producción de las viviendas se ve reflejado tanto en la morfología documentada con el instrumento, como en la reconstrucción histórica del proceso evolutivo de la construcción de las viviendas en los casos de estudio.

Morfología de las viviendas en Vida Nueva

Para el análisis morfológico se consideran criterios socio-espaciales para los terrenos, viviendas y hogares de la comunidad. Estos son analizados mediante el desarrollo de mapas temáticos que permiten la cuantificación en tablas porcentuales de los tipos predominantes de cada criterio, lo que permite establecer la tipología morfológica de las viviendas en Vida Nueva.

Se encuentra que los terrenos de la comunidad se caracterizan por un alto porcentaje de cobertura, siendo que en un 70% de los casos, los lotes son de un tamaño menor al exigido por ley de 120m² complicando su posibilidad de regularización [16]. Además, se considera que hasta un 70% de los terrenos se ven afectados por condiciones del terreno como pendientes pronunciadas y riesgos de derrumbe por construcciones aledañas o bien deslizamientos ocasionados por la cercanía con la quebrada.

A la hora de plantear estrategias para brindar soluciones arquitectónicas para la comunidad, es importante contemplar no sólo las limitaciones sino también las oportunidades de diseño que derivan del estudio de las condiciones del terreno. Las pendientes pueden ser aprovechadas para lograr una mayor densidad sin perder oportunidades de ventilación e iluminación de las unidades residenciales generando un gran dinamismo del paisaje, sin perder de vista que pueden llegar a dificultar la circulación de los usuarios en la comunidad, principalmente en el caso de adultos mayores o personas con alguna discapacidad motora que deben subir y bajar caminos escarpados para llegar a su vivienda. Por otro lado, la ocupación total de los lotes se acompaña de un contexto rodeado de naturaleza y espacios abiertos a lo largo de los caminos peatonales en su mayoría, que siguen el curso de la quebrada hacia las diferentes unidades habitacionales, dando vida a la dinámica comunitaria y los espacios públicos.

Por su parte, las viviendas en Vida Nueva se caracterizan por su horizontalidad, representadas en un 74.7% de viviendas de un solo piso con un tipo de expansión horizontal nuclear, las cuales se encuentran usualmente adosadas a la fachada de la vivienda vecina. A pesar de esto, la topografía presenta un paisaje escalonado y dinámico, en donde predomina la lámina de hierro galvanizado y viviendas que se encuentran aún en etapa de desarrollo, lo cual puede verse afectado por el incremento en la población flotante que habita la comunidad, llegando a formarse un alto porcentaje de alquiler e incluso el desarrollo de cuarterías, aun así, se debe rescatar que un 55.3% de las viviendas se encuentran en etapa de consolidación o de terminación, lo que a su vez repercute en una población con un mayor grado de apego en la comunidad.

Finalmente, se rescata el hecho de que el 96.2% de las viviendas es superior a los 30 m² mínimos que establece la ley [17], sin olvidar que adicionalmente habría que considerar si las viviendas cumplen con los metros cuadrados mínimos por aposento y cantidad de personas por habitación. Esto podría ser analizado mediante el acceso a datos poblacionales más completos y actualizados sobre la comunidad, poniendo sobre la balanza la posibilidad de flexibilizar los requisitos urbanísticos vigentes para la formalización de las viviendas en asentamientos informales.

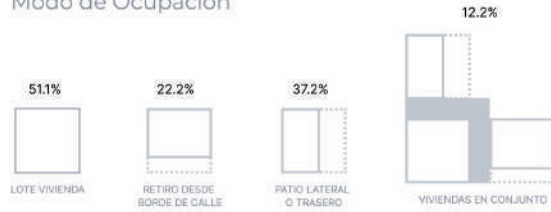
Por último, los hogares de la comunidad según los datos poblacionales del IMAS [18], son de tipo uniparentales y nucleares en prácticamente la mitad de los casos, a lo que debe sumarse la cantidad de hogares que registran una jefatura femenina que es de un 67.3%. Estos datos permiten identificar el papel de la mujer como relevante dentro de la comunidad, además de la presencia de 48.1% de hogares con menores de edad.

Adicionalmente, llama la atención la gran cantidad de personas que presentan alguna discapacidad, cifra que llega a cubrir un 80.8% de los hogares, aunque se desconoce mayor información acerca de la condición de estas personas, durante la visita a la comunidad llevada a cabo el 4 de septiembre del año 2024, algunos vecinos con los que se conversó comunicaron tener dolores musculares, desgastes en los huesos o niños con dificultad motriz, quienes se ven perjudicados por la dificultosa movilidad de esta comunidad en pendiente.

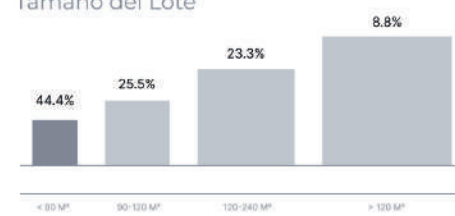
A partir del análisis cuantitativo y cualitativo de mapas temáticos y tablas porcentuales elaboradas por criterio, las cuales pueden revisarse con mayor detalle en la investigación completa [12], se deriva una clasificación tipológica que permite visualizar la caracterización general de las viviendas de la comunidad de Vida Nueva, en donde se representan no solo los criterios predominantes, sino todo el espectro de porcentajes variables que responden a la presencia de diferentes tipos de condiciones socio-espaciales que coexisten en las viviendas de la comunidad (Ver figura 3).

TERRENOS

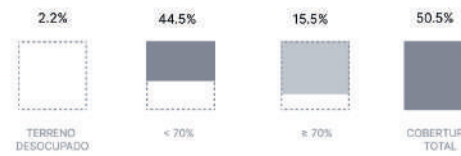
Modo de Ocupación



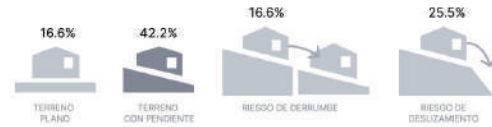
Tamaño del Lote



Cobertura del Lote

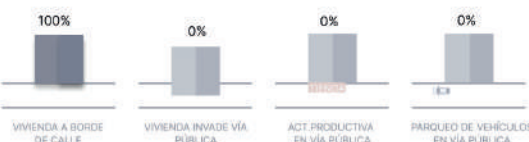


Condiciones del Terreno

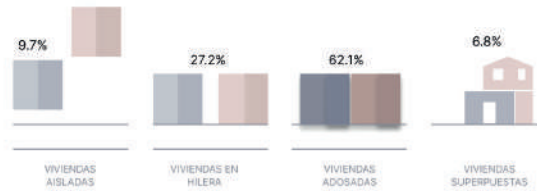


VIVIENDAS

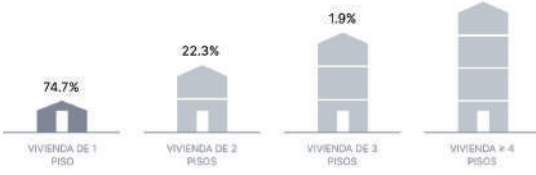
Relación Vivienda-Calle



Relación Vivienda-Vivienda



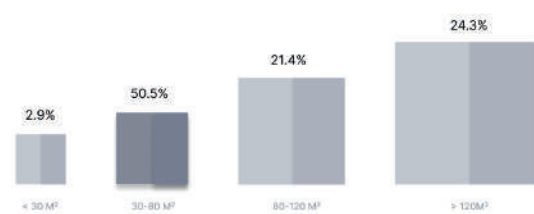
Cantidad de Pisos



Tipo de Expansión



Tamaño de la Vivienda



Material Predominante



Etapa de Desarrollo



HOGARES

Tipo de Usuario



Composición Familiar



Figura 3. Tipología morfológica de las viviendas en Vida Nueva.

Proceso Evolutivo de las viviendas en Vida Nueva

Los casos de estudio seleccionados se pueden ubicar en la figura 4, cada uno de los cuales representa una tipología morfológica diferente según la etapa de desarrollo de las viviendas, el tipo de expansión, la composición familiar y el tipo de usuario, adicional al requisito de contar con al menos 10 años de trayectoria en la autoconstrucción de la vivienda. Se debe recordar que hay tantas historias como familias hay en Vida Nueva, por lo que el valor de la documentación de los casos de estudio está en la visibilización de la realidad de las familias en asentamientos informales y el proceso evolutivo que ha conllevado la producción social de sus viviendas.

La primera vivienda es la de doña Flor, quien vive junto con otras 6 personas desde hace 12 años en la comunidad de Vida Nueva, ella es actualmente la presidenta del comité comunal y su tipología morfológica representa un hogar compuesto nuclear con hijos, con una vivienda vertical compuesta en etapa de terminación. El segundo caso de estudio (C.E.) corresponde a la familia de doña Iris, donde se encuentran adicionadas dos unidades de alquiler, posee una vivienda horizontal compuesta en etapa de consolidación en donde se encuentra un hogar compuesto con otros no familiares e hijos.



Figura 4. Mapa de ubicación de los casos de estudio seleccionados.

El tercer C.E. es donde vive doña Marta junto con sus tres hijos, uno de los cuales tiene una discapacidad neuromotriz de nacimiento, su vivienda es vertical nuclear en etapa de desarrollo y se caracteriza por ser un hogar nuclear monoparental con hijos; finalmente, el último C.E. corresponde a la familia de doña Teresa, quien vive con su pareja y su hijo, siendo esta familia una de las 29 familias originarias en la conformación de la comunidad de Vida Nueva, este es un hogar nuclear conyugal con hijos y una vivienda horizontal nuclear en etapa de terminación.

Entre los resultados de la aplicación de las entrevistas semiestructuradas a las familias, se destaca la procedencia de alquileres formales previos a ingresar a la comunidad, así como el uso de materiales donados para la autoconstrucción de las viviendas, en su mayoría sin asistencia técnica profesional, siendo que la inversión se centra en la obtención de materiales por medio del trabajo y ahorro propio, salvando los gastos insostenibles de la contratación de mano de obra. Además, se encuentra que la condición de las viviendas es variable, pero todas sin excepción han sido construcciones progresivas que han sufrido cambios funcionales en los espacios, realizando ampliaciones ambiente por ambiente según ha sido la capacidad económica de la familia, siendo que la mayor parte de los hogares registra tener un ingreso mensual menor al salario mínimo [18].

Otro factor fundamental en las ampliaciones y cambios funcionales se ve reflejado en el ciclo familiar, donde se observa fenómenos como la llegada de parientes que permanecen de forma temporal en la vivienda, ampliaciones para dar cabida a más hijos e incluso permitiendo la independización de núcleos familiares dentro de una misma unidad, o construyendo viviendas nuevas dentro de la comunidad, manteniendo lazos de parentesco entre vecinos familiares que permiten construir una red de ayuda mutua. Finalmente, es relevante que la percepción y expectativa sobre la vivienda, demuestra ser variable en todos los casos de estudio, independientemente de la cantidad de años que lleven asentadas las familias y la cantidad de inversión y esfuerzo que hayan puesto sobre su vivienda.

El proceso evolutivo de las viviendas se registra mediante entrevistas aplicadas y su traducción en diagramas para la reconstrucción histórica de los cambios tanto constructivos, como espaciales y su relación con el ciclo familiar, así como la situación económica real del momento. En la figura 5, se observa la interrelación entre el paso de los años, el aumento en el metraje de la vivienda desde el espacio inicial hasta su versión actual con sus transformaciones funcionales de los espacios y el ciclo familiar en cada uno de los casos de estudio representado mediante genogramas familiares.

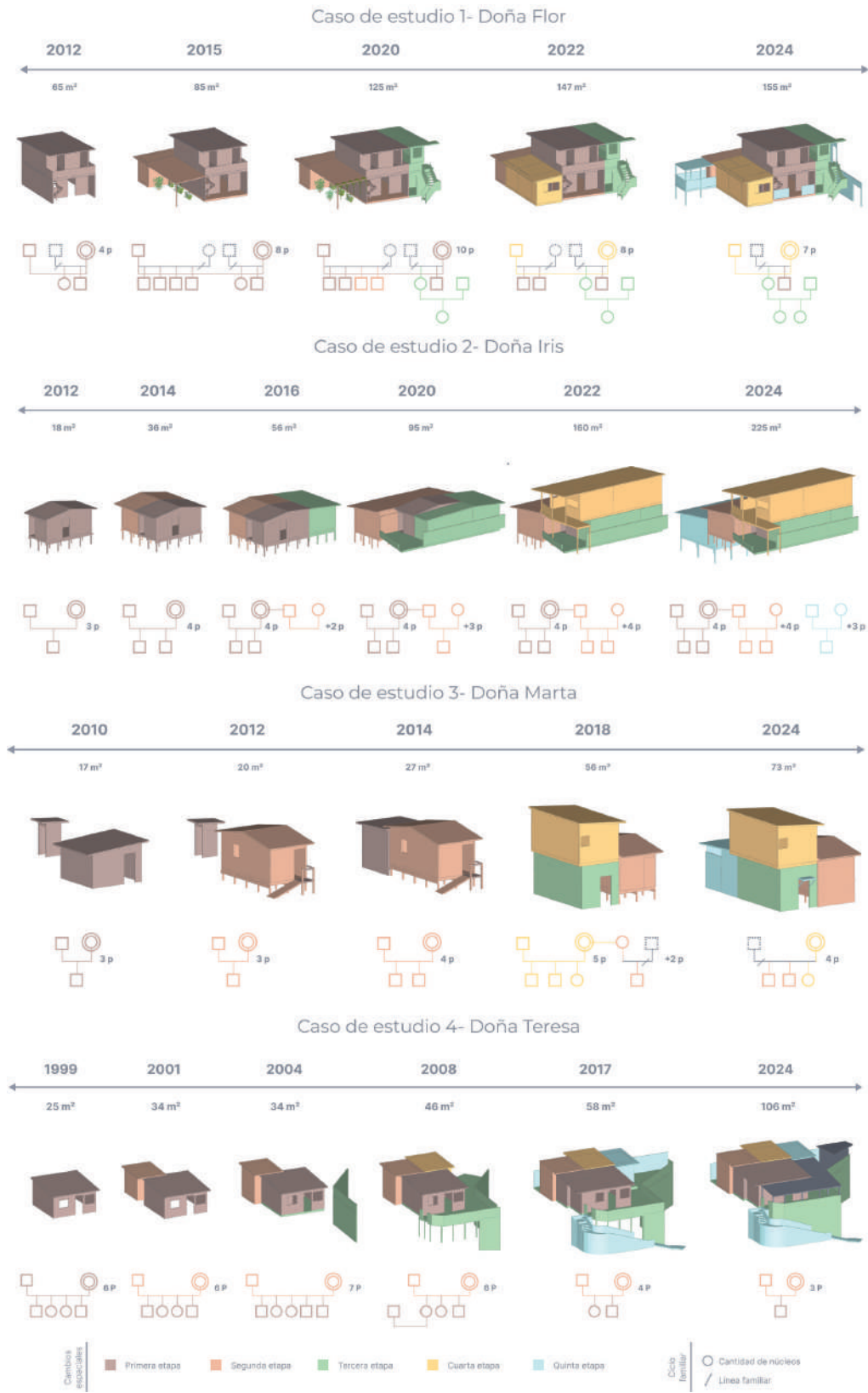


Figura 5. Proceso evolutivo de los casos de estudio.

Conclusiones

A partir de la reflexión sobre el papel que funge la vivienda para las personas que habitan en los asentamientos informales como en el caso de Vida Nueva, se observa la influencia del ciclo de la vivienda informal en la manera en que las familias logran solventar sus necesidades básicas con base en la dinámica familiar, la capacidad económica y técnica real, así como las expectativas sobre la permanencia o el acceso a alternativas de vivienda social.

De modo que, las necesidades pueden definirse como las prioridades de inversión que las familias tienen sobre la vivienda, es decir, qué se decide construir primero, buscando al mismo tiempo una ubicación estratégica con acceso a servicios básicos como luz y agua e infraestructura social como escuelas, fuentes de trabajo y centros de salud. Las posibilidades por su parte corresponden a los medios de construcción que las familias utilizan para obtener su vivienda según sus recursos limitados, buscando una inversión inicial mínima con mejoramientos progresivos para la ampliación de los espacios y el reemplazo de material, en concordancia con la capacidad técnica de las familias que impulsan la autoconstrucción de la vivienda. A su vez, las expectativas se ven reflejadas en las motivaciones de las familias para incursionar en la construcción y mejoramiento de su vivienda, así como sus aspiraciones de permanencia u adquisición de una alternativa de vivienda para permita ofrecer una mejor calidad de vida para su familia.

Finalmente, se presentan 15 pautas de diseño que orientan el planteamiento de soluciones habitacionales en estas comunidades (Ver figura 6), mejor adaptados a las necesidades, posibilidades y expectativas de las familias, las cuales se numeran a continuación.



Figura 6. Pautas para propuestas arquitectónicas en asentamientos informales.

En primer lugar, se encuentra (1) la necesidad de considerar estrategias mixtas que van desde la intervención en sitio, reubicación, proyectos de vivienda social y subsidios para dar respuesta a las realidades diversas que se presentan en los asentamientos informales como zonas de mayor riesgo, grado diferentes de apego y expectativas diversas sobre la vivienda para las familias, (2) por lo que se debe contemplar la etapa de desarrollo de las viviendas en busca de valorar las posibles soluciones en cada caso en particular.

De manera que las soluciones habitacionales no deben ser prescriptivas, (3) sino que deben nacer del estudio de cada caso en particular y la escucha activa de las familias que participan en el proceso. La vida humana debe ser resguardada, (4) priorizando la reubicación de familias en situación de riesgo y (7) ejecutando intervenciones para la mitigación de desastres. Para el planteamiento de las estrategias, (5) se debe seguir un orden lógico que sea sensible a la situación de las familias, siendo el mejoramiento en sitio el menos disruptivo, mientras que la reubicación debe contemplarse como último recurso, (10) buscando evitar la ruptura de la red de conexiones sociales, comunitarias, laborales, de estudio, entre otras.

(6) Por otro lado, asegurar la seguridad de permanencia de las familias estimula la inversión en el mejoramiento de las viviendas y la infraestructura comunitaria, (9) para lo cual es necesario desarrollar programas de capacitación técnica como acción preventiva para aumentar la seguridad de los habitantes en los procesos constructivos, (8) incorporando incluso modelos de producción social de la vivienda que reduzca los costos de obra y se adapten a la capacidad económica de las familias beneficiarias. (13) Las soluciones habitacionales además deben permitir la posibilidad de personalización de las unidades como medio de expresión de la identidad de cada familia, (11) en propuestas de vivienda que posean una cualidad progresiva adaptada a las posibilidades de inversión reales de las familias beneficiarias, (12) y generando espacios flexibles que permitan el cambio funcional de los espacios según las necesidades del ciclo familiar, (14) donde incluso una vivienda unifamiliar puede transformarse en colectiva.

Por último, (15) se pone en evidencia la necesidad de buscar una respuesta alternativa al desarrollo de cuarterías dentro de estas comunidades, que reflejan la existencia de una población flotante que vive en hacinamiento y condiciones deplorables, pero que, al no existir una alternativa asequible, terminan por fomentar el desarrollo de la propia informalidad.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a mi tutora en el TFG la Dra. Arq. Rosa Elena Malavassi Aguilar, por su apoyo durante el desarrollo de la investigación. Además, a mi compañera de investigación en trabajos previos sobre asentamientos informales la Arq. Mariela Ramírez González. Finalmente, al profesor Mauricio Guevara por haber impulsado nuestras investigaciones desde el inicio, incentivando siempre la divulgación del trabajo.

Referencias

- [1] “Catálogo de Asentamientos Informales del MIVAH”, *Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH)*, 2024, sin publicar.
- [2] K. Dovey and R. King. “Forms of Informality: Morphology and Visibility of Informal Settlements”, *Built environment*, vol. 33, no 1, pp. 11-29, 2011. [Online]. Available: <https://www.ingentaconnect.com/content/alex/benv/2011/00000037/00000001/art00002;jsessionid=50ulpukw4jjr6.x-ic-live-03>
- [3] N. Khor et al. “World Cities Report 2022”, *UN-Habitat*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://unhabitat.org/wcr/>
- [4] V. Adler et al. “Vivienda ¿Qué viene?: de pensar la unidad a construir la ciudad”, *Banco Interamericano de Desarrollo*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/vivienda-que-viene-de-pensar-la-unidad-construir-la-ciudad>

- [5] B. Gordyn. "Vivienda y ODS en México", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://onu-habitat.org/index.php/la-vivienda-en-el-centro-de-los-ods-en-mexico>
- [6] A. Pérez. "Bases para el diseño de la vivienda de interés social: según la necesidades y expectativas de los usuarios", *Ediciones Unisalle*, 2013. <https://doi.org/10.19052/9789585136281>
- [7] J. Marín et al. "Insatisfacción residencial post-relocalización de asentamientos informales en viviendas sociales: una revisión sistemática de la literatura", *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, vol. 18, no 52, 2023. <https://doi.org/10.5821/ace.18.52.11371>
- [8] E. Ortiz. "Producción social de la vivienda y el hábitat: Bases conceptuales y correlación con los procesos habitacionales", *Producción social del Hábitat en América latina*, pp. 13-44, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://hic-al.org/2018/12/28/produccion-social-de-la-vivienda-y-el-habitat-bases-conceptuales-y-correlacion-con-los-procesos-habitacionales/>
- [9] K. Dovey et al. "Towards a morphogenesis of informal settlements", *Habitat International*, vol. 104, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102240>
- [10] Hábitat para la Humanidad Argentina et al. "Ciclo de vida de la vivienda autoconstruida", 2021. [En línea]. Disponible en: <https://hpha.org.ar/wp-content/uploads/2022/06/Argentina-Viviendas-Autoconstruidas-baja.pdf>
- [11] E. Morales y R. Alonso. "La vivienda como proceso. Estrategias de flexibilidad", *Habitat y Sociedad*, vol 4, pp. 33-54, 2012. <https://doi.org/10.12795/HabitatySociedad.2012.i4.03>
- [12] V. Murillo. "Historias Materializadas: Instrumento para el análisis morfológico y evolutivo de las viviendas en asentamientos informales aplicado en la comunidad de 'Vida Nueva' en Concepción de La Unión de Cartago, Costa Rica.", *Repositorio TEC*, tesis de licenciatura, Tecnológico de Costa Rica, San José, 2025, sin publicar.
- [13] P. López. "La Construcción de Tipologías: Metodología de Análisis", *Papers: revista de sociología*, pp. 9-29, 1996. <https://doi.org/10.5565/rev/papers.1811>
- [14] "Distribución geográfica de los asentamientos informales". (2024, agosto 19). *Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH)*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=c64416daa19f45d3a41c3c99576b1150>
- [15] M. Ramírez. "Metodología de análisis: asentamientos informales, sistemas complejos adaptativos", *Repositorio TEC*, tesis de licenciatura, Tecnológico de Costa Rica, San José, 2021. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13311>
- [16] "Reglamento Ilustrado de Fraccionamiento y Urbanizaciones". *Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU)*. La Gaceta No. 54. 7 de septiembre del 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.invu.go.cr/documents/20181/33489/Reglamento+Ilustrado+de+Fraccionamiento+y+Urbanizaciones.pdf>
- [17] "Reglamento de Construcciones". *Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU)*. La Gaceta No. 94, 23 de mayo del 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.invu.go.cr/documents/20181/32857/Reglamento+de+Construcciones>
- [18] "Caracterización Vida Nueva". (2024, setiembre 16). *Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS)*, sin publicar.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.

Geoportal web para la gestión y difusión de los recursos patrimoniales de la ciudad de Limón, Costa Rica


Web geoportal for the management and dissemination of the heritage resources of Limón City, Costa Rica


Mauricio Guevara-Murillo¹, Rosa Elena Malavassi-Aguilar², David Porras-Alfaro³

Guevara-Murillo, M; Malavassi-Aguilar, R.E; Porras-Alfaro, D. Geoportal web para la gestión y difusión de los recursos patrimoniales de la ciudad de Limón, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 46-58.


 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8289>


1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 mauguevara@tec.ac.cr


 <https://orcid.org/0000-0002-0884-9231>


2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 rmalavasi@tec.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0001-6051-1062>

3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 dporras@tec.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-8917-1652>



Palabras clave

Patrimonio cultural; gestión patrimonial; difusión patrimonial; dominios culturales; SIG; R-Studio.

Resumen

El patrimonio cultural enfrenta el reto de lograr su reconocimiento y transmisión social. En Costa Rica, la salvaguarda del patrimonio nacional es limitada y se encuentra amenazada por la pérdida de arraigo ante un proceso de globalización que cambia las dinámicas sociales y urbanas tradicionales. Este artículo genera una reflexión en torno al uso de herramientas de sistemas de información geográfica y mapeo web, como instrumentos para universalizar y difundir un registro de recursos patrimoniales identificados en la ciudad de Limón, resultado del proyecto de extensión: “Aprovechamiento de oportunidades para la generación de desarrollo endógeno mediante la puesta en valor de recursos patrimoniales en el casco histórico y primer ensanche de la ciudad de Limón”. Metodológicamente, luego de compilar el registro de recursos patrimoniales, se procedió a explorar diferentes herramientas de mapeo web, con el objeto de crear una herramienta de acceso abierto, que soportara la presentación de datos geoespaciales, sin requerir la descarga de aplicaciones complementarias y con la posibilidad de visualizarse directamente en cualquier explorador web. Como resultado se configuraron dos herramientas de mapeo web complementarias. La primera, es un repositorio que reseña los recursos del patrimonio material e inmaterial y un conjunto de acciones estratégicas definidas por el proyecto de extensión, para la generación de desarrollo endógeno aprovechando los recursos patrimoniales. La segunda, es una herramienta dinámica que permite asociar a los recursos su subcategoría según dominios culturales, su estado de conservación, y una valoración multicriterio realizada por el proyecto de extensión.

Keywords

Cultural heritage; heritage management; heritage dissemination; cultural domains; GIS; R-Studio.

Abstract

Cultural heritage faces the challenge of attaining recognition and social transmission. In Costa Rica, the safeguarding of national heritage is limited and threatened by the loss of roots caused by globalization, which is changing traditional social and urban dynamics. This article generates a reflection on the use of geographic information system (GIS) and web mapping tools as instruments for the universalization and dissemination of a registry of heritage resources identified in the city of Limón, as a result of the extension project: “Taking advantage of opportunities for the generation of endogenous development through the enhancement of heritage resources in the historic center and first expansion area of the city of Limón.” Methodologically, after compiling the heritage resource registry, we explored various web mapping tools to create an open-access tool that supports the presentation of geospatial data without requiring the download of additional applications. This tool was designed to be compatible with any web browser, thereby enhancing accessibility and convenience. Consequently, a configuration of two web mapping tools was implemented. The first is a repository that outlines the tangible and intangible heritage resources, and a set of strategic actions defined by the extension project for the generation of endogenous development taking advantage of heritage resources. The second is a dynamic tool that enables the classification of tangible and intangible heritage resources according to cultural domains and the state of their conservation. Additionally, it facilitates multi-criteria valuation of these heritage resources, a process undertaken by the extension project.

Introducción

La noción del patrimonio cultural y sus procesos de gestión y conservación se han transformado con el paso del tiempo, reconociendo un abanico más amplio de elementos culturales y la necesidad de enfoques multidisciplinarios y estrategias innovadoras que potencien los valores patrimoniales y contribuyan con los procesos de significación y arraigo cultural.

La Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural [1] define el patrimonio cultural a partir de tres componentes: los monumentos, que comprenden, entre otros, obras arquitectónicas; los conjuntos, que se refiere a grupos de construcciones y su integración o unidad con el paisaje; y el tercer componente, los lugares, que se refiere a obras creadas por el ser humano, u obras conjuntas del ser humano y la naturaleza.

Según el Marco de Estadísticas Culturales de la UNESCO, los dominios culturales se definen como categorías que agrupan actividades económicas y sociales relacionadas con la cultura. Los dominios culturales principales son: patrimonio cultural y natural, presentaciones artísticas y celebraciones, artes visuales y artesanías, libros y prensa, medios audiovisuales e interactivos, diseño y servicios creativos. Como dominios transversales se incluye el Patrimonio Cultural Inmaterial, la educación y capacitación, la archivística y preservación y el equipamiento y materiales de apoyo [2].

El ciclo cultural, según la UNESCO, comprende cinco etapas: creación, producción, difusión/transmisión, exhibición/recepción y consumo/participación [2]. Además, los dominios culturales están presentes en las cinco etapas y permiten medir y analizar el impacto de la cultura en términos económicos y sociales; por otro lado, es particularmente importante el uso de la tecnología web y la geomática para el cumplimiento del ciclo cultural [3].

El desarrollo de las tecnologías de información y telecomunicación se ha vuelto un detonante importante de cambios significativos en los procesos de registro, administración y gestión de los recursos patrimoniales. La evolución de los sistemas de información geográfica (SIG) ha permitido una mayor apertura al trabajo con información geográfica incluso para quienes no son expertos en el tema [4]. El auge de la WWW [*World Wide Web*], los SIG y las bases de datos geoespaciales ha facultado procesos de gestión patrimonial más rápidos, efectivos y universales.

El uso de geoportales faculta una efectiva integración y manejo de los recursos culturales al tiempo que provee a la sociedad un acceso dinámico a la información espacial de su territorio [3]. En la actualidad, entre el 60-70% de la información utilizada por empresas, instituciones estatales, autoridades municipales y ciudadanos para el desarrollo de sus actividades cotidianas, tienen un componente espacial [5].

A pesar de lo anterior, estos cambios se materializan de forma progresiva, principalmente en contextos europeos. En Costa Rica, estas tecnologías y aplicaciones se encuentran aún en un desarrollo inicial y se materializan principalmente en temas de conservación y gestión de recursos naturales. La información geográfica es esencial para conocer y gestionar el territorio, lo que también aplica para el patrimonio cultural dado que la información está localizada en un punto para los bienes tangibles o asociada a un área geográfica para los bienes intangibles [3].

El presente artículo sistematiza un ejercicio de aplicación de las tecnologías SIG en la gestión y difusión de recursos patrimoniales en el contexto costarricense, y demuestra que existe una capacidad instalada para su incorporación progresiva en las prácticas de conservación y gestión patrimonial.

Un geoportal es una plataforma de comunicación y localización de información que da acceso a través del uso de la web a información geoespacial con mapas interactivos. Además, permite a los usuarios operar con los mapas y datos contenidos en ellos (buscar datos / objetos espaciales, clasificarlos, resaltar zonas / objetos, mostrar diversas capas en el mapa, hacer acercamientos, etc.) [5], al tiempo que incorporan servicios de visualización, edición y análisis de datos para un uso más efectivo de los SIG [6].

De esta forma el geoportal se convierte en una herramienta de comunicación de datos geoespaciales, que posibilita el acceso a información geográfica a usuarios que no tienen los recursos económicos o técnicos para manejar este tipo de sistemas. En otras palabras, simplifica el acceso a datos espaciales permitiendo su procesamiento, análisis, visualización, actualización y gestión para diversos fines [5]. Por otro lado, los geoportales no solo facilitan las actividades ya citadas, sino que evitan la duplicación de esfuerzos, retrasos, confusión o desperdicio de recursos [6].

Este artículo describe la experiencia implementada para el desarrollo de un geoportal web que permite la difusión de los recursos del patrimonio cultural presentes en el centro histórico de la ciudad de Limón y su primer ensanche.

Herramientas como ArGIS, CARTO o MyMaps permiten la configuración de geoportales web de acceso abierto, con plantillas predeterminadas, pero con algunas restricciones según el tipo de licenciamiento adquirido.

Al momento de seleccionar una aplicación para el desarrollo de un geoportal, se deben considerar características como libre uso, acceso abierto, interfase moderna, tiempo de creación, facilidad de uso, accesibilidad y conocimientos técnicos de programación. En algunos casos, aplicaciones predeterminadas pueden resultar costosas. Por otro lado, las aplicaciones de uso libre pueden tener plataformas poco versátiles o requerir conocimientos de programación más avanzados. Esto último sucede con aplicaciones de programación web desde cero (HTML, CSS and JavaScript) que requieren mayor conocimiento para su implementación [6]. Por ello, la metodología exploró el uso de diversas herramientas de código y acceso abierto que permitieran una difusión más universal y no significaran gastos adicionales para su implementación.

Este ejercicio de investigación aplicada se realizó con el objeto de llevar el registro de bienes patrimoniales hacia procesos de difusión y puesta en valor. Los inventarios pueden ser específicos, por ejemplo, dirigidos al patrimonio arquitectónico o al patrimonio inmaterial, o como sucede en el presente caso de estudio, a los recursos patrimoniales. La utilidad de un inventario radica en que permite sensibilizar sobre la preservación histórica y la importancia de este, no solo a las personas en particular sino para la sociedad en general [7].

Los inventarios se han creado para recopilar y preservar la cultura, pero también para permitir la participación de las partes involucradas y de la comunidad [8]. Por este motivo, se explica que existen dos formas de gestionar los inventarios: ofrecer acceso mediante datos abiertos, o permitir la consulta solamente mediante sitios web específicos. En el presente estudio, se impulsa el acceso abierto a la información.

Un registro de bienes o inventario patrimonial si bien es una herramienta útil, requiere de procesos de difusión y socialización que permitan una mayor transmisión de los elementos para su reconocimiento y apropiación. Por tanto, se analiza como con capacidades básicas de programación y recursos de acceso abierto se puede configurar un portal web que permita difundir y conocer los recursos patrimoniales existentes en la zona de estudio; y generar con ello, un piloto para el desarrollo de geoportales web con registros de recursos patrimoniales de Costa Rica.

Al final del proceso, es posible reconocer que existen diferentes herramientas para configurar portales web las cuales se pueden ajustar a las necesidades de difusión de registros geoespaciales del patrimonio. Sin embargo, la configuración del portal responde de forma estrecha a las características de la información disponible, la herramienta permite la difusión de datos cartográficos tabulares y estadísticos, por lo que su potencial de uso depende no sólo de las facilidades que dan las herramientas tecnológicas sino del tipo de información.

Materiales y métodos

En el marco del proyecto de extensión: *“Aprovechamiento de oportunidades para la generación de desarrollo endógeno mediante la puesta en valor de recursos patrimoniales en el casco histórico y primer ensanche de la ciudad de Limón”* [9] y como parte de los esfuerzos por mejorar la gestión de los recursos del patrimonio cultural del casco histórico y primer ensanche de la ciudad de Limón, un grupo de extensionistas del Instituto Tecnológico de Costa Rica realizó entre varias actividades, un registro de bienes del patrimonio cultural. Si bien el objetivo del desarrollo de este inventario estaba asociado a la identificación de oportunidades para el desarrollo endógeno, se aprovecharon estos insumos para la construcción de un geoportal web que permitiera una difusión universal y abierta de los resultados de este inventario.

El geoportal web se elaboró como una herramienta para dar acceso abierto a aquellos elementos que se identificaron por parte del equipo técnico y el trabajo con la comunidad, de modo que constituyera un material de consulta abierta para la difusión de los recursos patrimoniales del territorio.

Así, con los recursos del proyecto de extensión, se analizó y procesó la información disponible para identificar una estrategia que permitiera su diseminación a partir de un geoportal web.

A continuación, se describen los materiales y métodos utilizados para la materialización del geoportal web.

Caso de estudio: Casco histórico de la ciudad de Limón y primer ensanche

La ciudad de Limón y su primer ensanche, conocido como Jamaica Town, al igual que el resto del Caribe Costarricense, poseen una importante riqueza natural, pero también en su conformación social, multiétnica e intercultural. Esta situación, a lo largo de los años, ha generado una diversidad de manifestaciones artísticas, culturales y arquitectónicas; sin embargo, en su mayoría carecen de un aprovechamiento que permita fomentar su desarrollo y sostenibilidad.

La gestión y difusión realizada hasta el momento, ha resultado insuficiente; por lo que incluso, muchas de estas diferentes manifestaciones han pasado desapercibidas para los propios habitantes, y con más razón, para los visitantes y turistas nacionales y extranjeros poniendo en riesgo su relevancia como referentes de la identidad cultural.

Por ello, la conservación y puesta en valor de uno de los espacios con mayor riqueza patrimonial de Costa Rica se vuelve fundamental para la promoción de cambios a nivel social, cultural y económico, pero para ello, se requiere de experiencias que articulen el involucramiento de la comunidad [10].

En total, como parte de la identificación de recursos patrimoniales de la zona de estudio a través de un proceso participativo se generaron 76 fichas, clasificadas según los dominios culturales de la UNESCO. Asimismo, a través de los procesos de investigación acción participativa se desarrolló la evaluación de estos recursos, brindando una herramienta para la implementación de acciones de gestión y difusión de los recursos [11].

Análisis y selección de la información

Si bien el presente artículo se concentra en describir el proceso de configuración de un geoportal web, es importante destacar que previo al desarrollo del geoportal, se realizó un proceso de configuración y articulación de una base de datos relacional que permitiera administrar y almacenar la información recopilada por el proyecto de extensión. Más allá del desarrollo del geoportal había un interés por configurar una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) pues el desarrollo de IDE es parte del avance natural de las bases de datos tradicionales y, una forma eficaz para almacenar, gestionar y analizar datos del patrimonio cultural [12].

Los datos recopilados pasaron por un proceso de depuración y estandarización y posteriormente, se modeló una base de datos utilizando el software pgModeler, el cual se configuró en el administrador de base de datos de PostgreSQL utilizando la extensión de Postgis, que permite la integración de datos espaciales. Finalmente, la información se implementó conectando la base de datos al software de escritorio de Qgis.

Una vez la información fue implementada, se generaron algunas pruebas con el objeto de generar los archivos que iban a alimentar el geoportal web. Dando como resultado la generación de tres archivos vectoriales con la información de las zonas delimitadas dentro de la zona de estudio, los recursos del patrimonio material y los recursos del patrimonio inmaterial, cada una con diferentes características en su mayoría descriptivos.

Estos archivos vectoriales contenían no sólo información geoespacial de los bienes de interés sino atributos e información multimedia de los elementos patrimoniales (fotografías e imágenes con información ampliada). Información que es significativa en los procesos de toma de decisiones en temas económicos, sociales y políticos como el caso de la planificación territorial; o para el empoderamiento de la sociedad civil en sus diferentes niveles [12].

Dado que el objeto era generar un visor web con datos geoespaciales, se inicia con la exportación de un archivo que incorporara la localización espacial de los recursos patrimoniales. Ahora bien, debido a que la base de datos contenía recursos del patrimonio material e inmaterial, los segundos se espacializaron a través de un archivo de puntos que localiza no el recurso en sí, sino sus manifestaciones.

Entre otros atributos, se integraron a los archivos la denominación del recurso, su subcategoría y el estado de conservación esto para el caso de los recursos del patrimonio material, mientras que, para los recursos del patrimonio inmaterial, se procedió a registrar el alcance de cada manifestación.

Adicionalmente, se sistematizaron algunos datos estadísticos, con el objetivo de presentar información sobre la situación de los recursos del patrimonio cultural. Se trabajó con valores absolutos de los recursos según situación legal, clasificación, estado de conservación, y riesgos y amenazas para el caso de los recursos del patrimonio material. Para el caso de los recursos del patrimonio inmaterial, se sistematizó la información de los grupos sociales vinculados, el alcance, ámbitos y los riesgos y amenazas.

Conceptualización del geoportal

Existe en el mercado una amplia variedad de recursos disponibles para la creación de geoportales, la elección de cada uno de ellos depende de la calidad y los requerimientos funcionales como navegación adecuada y rápido acceso a la información [3].

En general algunas de las funciones comunes de los geoportales incluyen la difusión de información, posibilidad de registrar datos, opciones de búsqueda según parámetros, posibilidad de mostrar información en mapas, descargar información, fácil comprensión y rápido acceso entre otras [6].

Para el desarrollo del geoportal se exploraron plataformas con configuraciones predefinidas con funciones más avanzadas para los usuarios, sin embargo, en su mayoría requieren de servidores en línea, mantenimiento a largo plazo y licenciamientos de uso. Por ello se analizó el uso de otras herramientas de programación básicas en lenguajes de HTML, Python y R. Estas pueden llegar a resultados similares, aunque con funcionalidades más restringidas y limitadas al usuario. En este ejercicio se identificó el lenguaje de programación de R a través del motor de R-Studio como una herramienta capaz de generar geoportales con plantillas predefinidas y algunas funciones de interactividad utilizando algunas extensiones existentes y sin mayores demandas de mantenimiento a futuro o el uso de servidores de pago.

Así, el desarrollo final del geoportal supuso la utilización de R-Studio y algunas extensiones o paquetes como ShinyApp y Flexdashboard, además de la plataforma de GitHub, como repositorio para el almacenamiento de la información y material a publicar y la plataforma de RPubS como plataforma para la publicación final del geoportal. En el cuadro 1, se puede observar a detalle la funcionalidad de cada herramienta y su aplicación para la construcción del geoportal.

Cuadro 1. Detalle de herramientas utilizadas para la creación del geoportal.

Herramienta	Funcionalidad	Aplicación en el geoportal web
R-Studio	Motor de programación	Se utilizó como motor para la programación del geoportal y el procesamiento de los materiales a publicar.
ShinyApp	Paquete de programación para R y Python con tableros predeterminados	Paquete de R cargado en el motor de programación para generar los tableros de las herramientas interactivas complementarias del geoportal.
Flexdashboard	Paquete de programación para R con tableros predeterminados e interactivos	Paquete de R cargado en el motor de programación para generar el tablero principal del geoportal web
GitHub	Plataforma para desarrollo, almacenamiento y gestión de código de programación. Permite además la publicación de páginas WEB	Se utilizó como repositorio principal de los materiales a publicar en el geoportal, además se utilizó como herramienta de gestión de versiones de la programación y para el almacenamiento del código fuente. <i>*GitHub permite la publicación en la WEB del código desarrollado, sin embargo, por el peso de los materiales no estaba disponible para su versión gratuita.</i>
RPubs	Servidor complementario para la publicación de sitios web desarrollados en R.	Se utilizó como herramienta alternativa para la publicación del geoportal, debido a las restricciones de tamaño de GitHub

Conociendo la funcionalidades y posibilidades de desarrollo de las herramientas seleccionadas, se procedió a realizar un esquema para el manejo de la información, el cual se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Esquema de la estructura para el geoportal o herramienta web [13].

Para su elaboración, se proyectó el desarrollo de un portal principal con diversas pestañas para transmitir información de cada uno de los recursos tanto del patrimonio material como inmaterial, y posteriormente se integran a este, dos visores adicionales que permiten algunos niveles de interactividad y manipulación de datos, con el objetivo de habilitar a los usuarios finales una mayor exploración y análisis de los datos.

Configuración del geoportal

Para la configuración del geoportal web, se inició con la creación de un repositorio en GitHub, donde se almacenó la información que se iba a requerir, esto incluyó archivos vectoriales para las zonas delimitadas en el territorio, las manzanas o cuadrantes y los elementos del patrimonio material e inmaterial. Adicionalmente, se incorporaron al repositorio fotografías e imágenes con la información recopilada para cada uno de los recursos del patrimonio cultural.

Posteriormente, utilizando el motor de R-Studio y el paquete de Flexdashboard, se configuró el portal principal. Para su desarrollo, se requirió la creación de un nuevo repositorio de GitHub para albergar el código fuente de su programación. El mismo se puede analizar en el siguiente enlace: https://github.com/mauguemu/Recursos_patrimonio_cultural

El paquete de Flexdashboard ofrece una plantilla predeterminada fácil de ajustar para la publicación de cartografía web, tabular datos y mostrar gráficos. Por ello se configuraron en el portal cinco pestañas distintas mostrando mapas del territorio, localización de los recursos, información de su clasificación y algunos datos estadísticos generales. Estos últimos se realizaron utilizando la biblioteca de Plot_ly de R-Studio que incluye algunas opciones de interactividad adicional al usuario final para la exploración de los datos.

Para la publicación final del geoportal se requirió el uso del servidor RPubs de R-Studio, dado que, aunque el plan original era postearlo utilizando el mismo repositorio de GIT, la cantidad de información contenida en el geoportal web desarrollado, no permitió su publicación a través de la herramienta de GitHub de forma gratuita.

Como elemento adicional se configuraron dos portales adicionales utilizando el mismo motor de R-Studio pero en este caso el paquete de ShinyApp. Esta extensión ofrece funciones similares a las de Flexdashboard al ser una plantilla predeterminada fácil de configurar con diferentes elementos de representación cartográfica, tabular y estadística. Sin embargo, esta permite mayor interactividad para la selección y filtración de datos. No obstante, esta extensión no se utilizó como base para el geoportal sino como herramienta complementaria, dado que su uso gratuito está limitado a una cantidad de horas al mes.

Para su configuración, se crea de igual forma un repositorio de GitHub, donde se aloja el código fuente. En este caso se configuró un geoportal para los recursos del patrimonio material y otro para los recursos del patrimonio inmaterial, los cuales se pueden consultar en los siguientes enlaces:

https://github.com/mauguemu/Recursos_patrimonio_material

https://github.com/mauguemu/Recursos_patrimonio_inmaterial

Resultados

Como resultado del ejercicio desarrollado, se logró la materialización de tres geoportales web que se integran en el portal principal desarrollado con la extensión de Flexdashboard.

El portal se configuró a través de seis pestañas distintas en una misma página web que presenta la información seleccionada para su difusión. Por otro lado, el mismo sitio web presenta los enlaces para dirigirse a los otros portales interactivos que se desarrollaron con la extensión de ShinyApp.

A continuación, se describe el contenido y resultado de los geoportales:

El portal principal

Según se puede observar en la figura 2, este geoportal presenta seis pestañas distintas que albergan parte de la información construida como resultado del proyecto de extensión.

- La primera pestaña, realiza una presentación general del proyecto de extensión, otorga los créditos correspondientes y, además, describe la información disponible en el geoportal.
- La segunda muestra el registro de los bienes del patrimonio material utilizando un mapa web y una representación tabular.
- La tercera pestaña, muestra una serie de gráficos descriptivos de la situación de los recursos del patrimonio material.
- Las pestañas cuarta y quinta presentan información similar, pero para los recursos del patrimonio inmaterial.
- Una sexta pestaña muestra la información relacionada con los resultados del proyecto de extensión enfocada en la identificación de actores y acciones de intervención para la generación de desarrollo endógeno en el territorio.

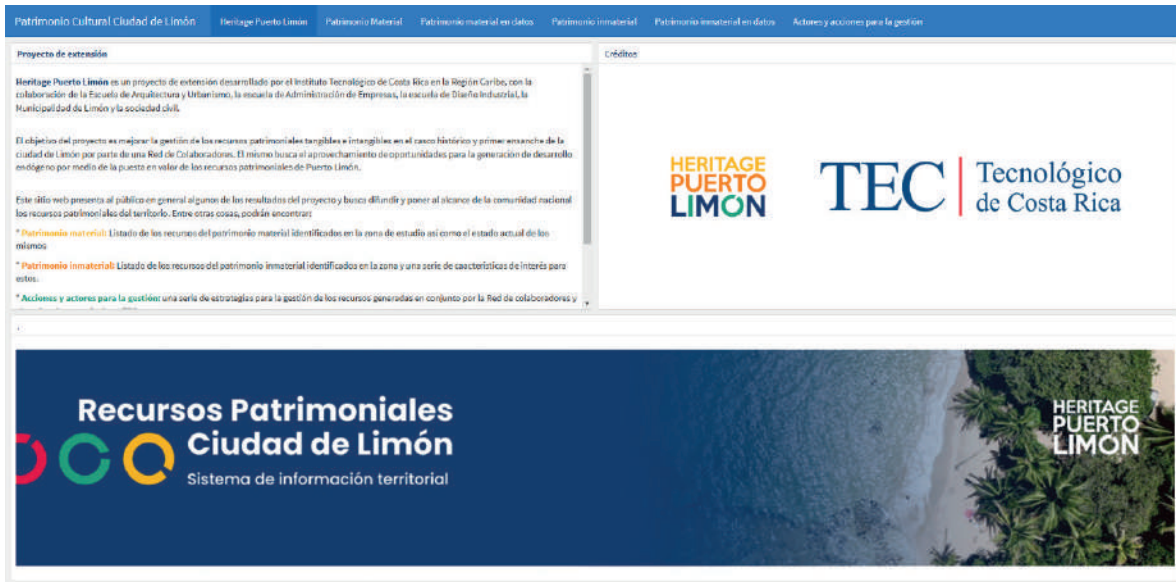


Figura 2. Página principal del geoportal [13].

Los resultados se pueden observar con más detalle en el enlace <https://rpubs.com/mauguemu/1050387>.

Los geoportales complementarios

Estos presentan una única pestaña, pero con un menú que permite desplazarse entre un mapa, una tabla, un gráfico o volver al portal principal. Además, permite una selección particular de datos utilizando tres filtros, según el estado del recurso, la subcategoría del dominio cultural o el resultado de una evaluación multicriterio.

- El mapa muestra un acercamiento a la zona de estudio con cuatro archivos vectoriales, los cuales presentan las zonas delimitadas por el proyecto de extensión, los cuadrantes y los recursos del patrimonio material identificados. Este último elemento, además contiene un Pop-up con el nombre del recurso, su subcategoría, el estado de conservación, una fotografía y un enlace a la ficha resumen del inventario. (Para desplegar la información de la ficha, se requiere abrirla en una pestaña independiente)
- La tabla contiene la información de la totalidad de los recursos del patrimonio material identificados en el territorio, establece en cada caso la denominación, la subcategoría, la ponderación obtenida como parte de una evaluación multicriterio realizada y el estado de conservación o periodicidad del recurso según se trate de recursos del patrimonio material o inmaterial respectivamente.
- Finalmente, el gráfico muestra a detalle el resultado de la evaluación multicriterio de cada uno de los recursos, identificando el desempeño de cada recurso en cada uno de los criterios sometidos a valoración.

En la figura 3, se ve el resultado del geoportal interactivo para los recursos del patrimonio material.

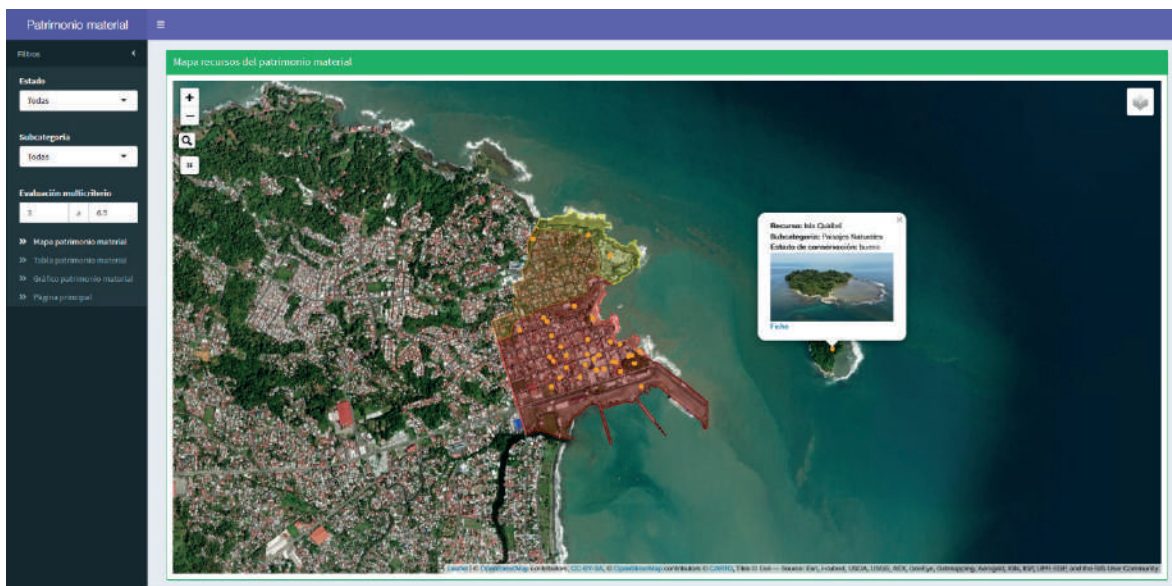


Figura 3. Vista del visor WEB interactivo, mapa del patrimonio material [13].

Los resultados se pueden observar con más detalle en los siguientes enlaces:

https://mauguemu.shinyapps.io/Recursos_patrimonio_material/

https://mauguemu.shinyapps.io/Recursos_patrimonio_inmaterial/

Conclusiones

La implementación de tecnologías web y sistemas de información geográfica aplicadas a la gestión del patrimonio es fundamental para Costa Rica si se quiere, como indica UNESCO, cumplir con las etapas del ciclo cultural. Esta aportación materializa una iniciativa piloto que se sustenta en el uso de software libre y de código abierto, registrando el proceso desarrollado.

La gestión y difusión del patrimonio cultural representa un reto por distintos aspectos, entre los más importantes están la falta de apoyo económico y la pérdida del reconocimiento por parte de la población. En este sentido, el uso de herramientas accesibles y de código abierto, como Qgis, PostgreSQL, pgModeler, R-Studio, GitHub y Rpubs, permiten avanzar en este objetivo. A la vez, estas herramientas permiten que público no especializado tenga acceso a la información, con una baja inversión económica a lo largo del tiempo, lo que es un aporte a la universalización del conocimiento sobre el patrimonio cultural.

En esta propuesta se evidencia que los geoportales facilitan el acceso a datos geoespaciales a personas sin conocimientos avanzados en Sistemas de Información Geográfica, o bien, que no tengan acceso a softwares especializados, evidenciando una forma de difundir el patrimonio cultural, fomentando la participación ciudadana en su gestión.

En el actual contexto, donde los recursos económicos para el sector cultural cada vez se ven disminuidos, las alianzas estratégicas y sinergias con la comunidad, se vuelven fundamentales para lograr la gestión patrimonial. En el estudio de caso expuesto, desde la academia, se realiza el primer paso que consiste en el inventario, con el fin de dar a conocer los recursos disponibles en el territorio y plasmarlos, en un segundo paso a través del geoportal. Como siguiente paso, se espera lograr la puesta en práctica y aplicación de estas herramientas, para lo cual es importante la alianza entre actores estratégicos, desde el sector público y privado que contribuyan a la protección del patrimonio de su territorio.

Considerando que en el contexto nacional y regional los geoportales se utilizan en campos como la conservación y gestión de recursos naturales, es factible y necesario que esta herramienta también se aplique en el campo de la conservación del patrimonio y de esta forma implementar el uso de la tecnología en todas las etapas del ciclo cultural del patrimonio. El país cuenta con la capacidad instalada, por lo que, mediante las alianzas estratégicas, entre la academia y otros sectores, se podrá garantizar una gestión más eficiente de los recursos tecnológicos disponibles y su aplicación en los diferentes campos del conocimiento.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica; a las Escuelas de Arquitectura y Urbanismo, Administración de Empresas y Diseño Industrial y a la red de trabajo colaborativo *Heritage* Puerto Limón, por el apoyo brindado para el desarrollo del proyecto de extensión: “Aprovechamiento de oportunidades para la generación de desarrollo endógeno mediante la puesta en valor de recursos patrimoniales en el casco histórico y primer ensanche de la ciudad de Limón”. Además, un agradecimiento especial al equipo de extensionistas por abrir las puertas al desarrollo de esta iniciativa, articulando el uso de los productos del proyecto para la elaboración del piloto del geoportal web.

Referencias

- [1] UNESCO, “Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural”, 1972.
- [2] UNESCO UIS, “Marco de estadísticas culturales (MEC) de la UNESCO”, 2009.
- [3] A. Collado, G. Mora-Navarro, V. Heras and J.L. Lerma, “A Web-Based Geoinformation System for Heritage Management and Geovisualisation in Cantón Nabón (Ecuador)”, *IJGI*, vol. 11, no. 1, Diciembre 2022. <https://doi.org/10.3390/ijgi11010004>
- [4] Á. Engelman-Moriche, A. Nieto-Masot, A.I. Horcajo-Romo and G. Cárdenas-Alonso, “Geoportal Turístico de una Región Rural como Medio de Difusión de su Oferta y Recursos. Caso de Estudio: Extremadura.”, *REA*, no. 41, pp. 125–143, 2021 https://dx.doi.org/10.12795/rea_2021.i41.07
- [5] V.I. Zatserkovnyi, D.P. Trofymenko, L.V. Ilyin, Lesya, N.V. Trofimenko, V. Hotko and Taras, “Analysis of approaches for “Geological heritage of Ukraine” geoportal creation”, pp. 1–5, 2020.
- [6] J. Sánchez-Martínez, “Development of a data platform for the Cultural Heritage Project Maulbronn Monastery,” [Tesis de maestría], Karlsruhe University of Applied Sciences, 2019.
- [7] T.A. Soomro, “Reflections on the importance of built heritage inventory as a tool for preservation in Karachi—a case study of Wadhmal Odharam (Jail) Quarter in Karachi, Sindh, Pakistan”, *Built Heritage*, vol. 8, no. 1, pp. 3, 2024. <https://doi.org/10.1186/s43238-023-00112-1>
- [8] M.T. Artese and I. Gagliardi, “Integrating, indexing and querying the tangible and intangible cultural heritage available online: the QueryLab portal”, *Information*, vol. 13, no. 5, pp. 260, 2022. <https://doi.org/10.3390/info13050260>
- [9] D. Porras-Alfaro *et al.* “Aprovechamiento de oportunidades para la generación de desarrollo endógeno mediante la puesta en valor de recursos patrimoniales en el casco histórico y primer ensanche de la ciudad de Limón”. RepositorioTEC. Accedido el 20 de marzo de 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14073>
- [10] D. Porras-Alfaro y K. García-Baltodano, “El recurso patrimonial de la ciudad de Limón: motor para el desarrollo endógeno”, *Investiga. TEC*, vol. 15, no. 45, pp. 7-10, Setiembre, 2022. [En Línea]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/6385
- [11] K. García-Baltodano, I. Hernández-Salazar y D. Porras-Alfaro, “Evaluación de los recursos patrimoniales tangibles e intangibles del casco histórico y primer ensanche de la ciudad de Limón”, *Tecnología en Marcha*, vol. 36, especial, pp. 132–148, 2023. [En línea]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/6963/6748
- [12] R. Sharifi and A.R. Ibrahim, “Spatial Data Infrastructure for Urban Heritage Conservation in Afghanistan: The Case Study of Herat”, Vienna, 2018.

- [13] M. Guevara-Murillo, “Desarrollo e implementación de un sistema de información geográfica para la gestión y administración del patrimonio cultural de los centros históricos: El caso del Centro Histórico de la ciudad de Limón,” [Tesis de maestría], Universidad de Costa Rica, 2023.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Para la revisión gramatical, ortográfica y traducciones de este artículo, empleamos la herramienta de IA *Grammarly*. Esta nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista.

Evaluación de modelos acústicos del Teatro Nacional de Costa Rica: hacia un diseño mejorado de concha acústica

Assessment of acoustic models of the National Theater of Costa Rica: towards an improved acoustic shell design

Joan Alfaro-Zamora¹, Jose Pablo Bulgarelli-Bolaños², Natalia Murillo-Quirós³

Alfaro-Zamora, J; Bulgarelli-Bolaños, J.P; Murillo-Quirós, N Evaluación de modelos acústicos del Teatro Nacional de Costa Rica: hacia un diseño mejorado de concha acústica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 59-71.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8290>



- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica
 joan.az@estudiantec.cr
 <https://orcid.org/0009-0004-3588-2856>
- 2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica
 jpbulgarelli@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-5476-6544>
- 3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica
 nmurillo@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-6777-1622>

Palabras clave

Parámetros acústicos; simulación; sonido; reverberación; coeficiente de absorción.

Resumen

El objetivo del trabajo, que se presenta a continuación, fue comparar los resultados de modelos acústicos simulados en COMSOL Multiphysics para el Escenario y la Gran Sala del Teatro Nacional de Costa Rica (TNCR) con los parámetros medidos en el sitio y proponer mejoras de las condiciones acústicas actuales. El escenario del TNCR cuenta con una concha acústica como mecanismo teatral para espectáculos musicales en vivo, esta investigación evaluó los parámetros acústicos mediante simulaciones basadas en tres modelos CAD: sin concha acústica, con la concha acústica que actualmente tiene el TNCR y con una propuesta alternativa de concha acústica. La metodología incluyó la simulación de la distribución del sonido y el cálculo de los parámetros acústicos T20, EDT, C80 y D50. Los resultados de los modelos con y sin concha se compararon con los valores medidos. La propuesta de concha acústica se comparó para determinar su impacto en los parámetros. Los resultados mostraron que los valores de T20 y EDT tendieron a sobreestimarse, especialmente en bajas frecuencias, mientras que C80 y D50 mostraron concordancia con los valores medidos. La propuesta de concha acústica incrementó T20 y EDT sin alterar en gran medida C80 y D50. Sin embargo, aunque el T20 aumentó, permaneció debajo del rango recomendado de 1,4 s a 1,8 s. Para trabajos a futuros se recomienda generar nuevas simulaciones con diferentes materiales que reflejen aún más el sonido y con diferentes geometrías de la concha acústica que dirijan el sonido de forma más directa al público.

Keywords

Acoustic parameters; simulation; sound; reverberation; absorption coefficient.

Abstract

The objective of this work, shared in this communication, was to compare the results of acoustic models simulated in COMSOL Multiphysics for the Stage and the Great Hall of the National Theater of Costa Rica (TNCR) with the parameters measured on-site and to propose improvements to the current acoustic conditions. The TNCR stage has an acoustic shell that is placed for live musical performances. This research evaluated the acoustic parameters through simulations based on three CAD models: without acoustic shell, with the acoustic shell that the TNCR currently has, and with an alternative acoustic shell proposal. The methodology included simulation of the sound distribution and calculation of the acoustic parameters T20, EDT, C80 and D50. The results of the models with and without shell were compared with measured values. The proposed acoustic shell was compared to determine its impact on the parameters. The results showed that the values of T20 and EDT tended to be overestimated, especially at low frequencies, while C80 and D50 showed agreement with the measured values. The proposed acoustic shell increased T20 and EDT without greatly altering C80 and D50. However, although T20 increased, it remained below the recommended range of 1.4 s to 1.8 s. As future work, new simulations should be run with different materials that reflect the sound even more and with different geometries that direct the sound more directly to the audience.

Introducción

En el presente artículo se publica parte de los resultados del Trabajo Final de Graduación (TFG) para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Física, del estudiante Joan Alfaro Zamora, del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Dicho TFG está vinculado con el proyecto de investigación “Gemelo Digital como herramienta para la gestión de planes de conservación programada. Caso de estudio: foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica”, inscrito ante la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y coordinado por la Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Dicha vinculación permitió conocer el comportamiento del objeto de estudio ante variables que no están contempladas en el planeamiento inicial de la investigación, pero que facilita el desarrollo de los proyectos planteados en la ruta de investigación.

El Teatro Nacional de Costa Rica (TNCR) cuenta con una concha acústica retráctil que se coloca sobre el escenario para mejorar la proyección del sonido sobre la Gran Sala cuando se realizan eventos musicales. Esta concha acústica fue construida en la década de 1960, y a pesar de que se sigue utilizando, se fabricó sin seguir los estándares constructivos para este tipo de dispositivos teatrales. Además, el Departamento de Conservación y el Departamento de Operaciones y Servicios ha recibido observaciones de parte de músicos que sugieren que las condiciones acústicas del TNCR pueden mejorar.

Este trabajo utilizó simulaciones como método principal para analizar la acústica del lugar, con diferentes configuraciones de la concha. El análisis se basó en la norma ISO 3382-1:2009, la cual busca estandarizar el procedimiento de medición de parámetros acústicos en un recinto y define cuáles variables se recomiendan medir. Con base en esta norma, se decidió utilizar los parámetros de Tiempo de Reverberación (T20), Tiempo de reverberación temprano (EDT por sus siglas en inglés), Claridad (C80) y Definición (D50). Todas estas variables se analizaron para diferentes valores de frecuencia: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz y 8000 Hz. Con el fin de guiar al lector se describen los parámetros acústicos que se usaron para las simulaciones.

Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación es el tiempo que tarda un sonido en decaer 60 dB una vez es emitido de la fuente. Se representa comúnmente con la letra T, y utiliza este valor porque se considera que así se obtiene el tiempo que tarda en decaer un sonido fuerte a un nivel que ya no es perceptible por el oído humano [1]. Se expresa en segundos y para salas de un tamaño comparable al TNCR, se recomienda un valor de entre 1,4 s y 1,8 s cuando el contenido musical predomina [2].

Cuando en el recinto analizado se complica obtener un decaimiento de 60 dB, es posible obtener el tiempo de reverberación a partir de otros valores (se utiliza comúnmente 20 dB y 30 dB). En estos casos, se utiliza el tiempo obtenido de estos valores para extrapolar el tiempo que se obtendría para los 60 dB. Cuando el tiempo de reverberación se obtiene de extrapolar un decaimiento de 20 dB, se representa como T20, y cuando el decaimiento es de 30 dB como T30 [1].

Tiempo de reverberación temprano

El tiempo de reverberación temprano o Early Decay Time (EDT), es una representación del tiempo de reverberación percibido por las personas, ya que toma en cuenta sólo los valores más altos de sonido, los cuales son los más fácilmente percibidos por el oído humano. Este se calcula utilizando únicamente la caída de los primeros 10 dB de un sonido para extrapolar el tiempo de reverberación. También se expresa en segundos, y su rango típico va de 1 s a 3 s [1].

Claridad

La claridad es un parámetro que relaciona la energía de los primeros instantes del sonido con la energía después de pasado un tiempo determinado. Se utilizan los primeros 50 ms para la claridad de la voz y los primeros 80 ms para la claridad musical. En este caso, interesa principalmente la segunda, debido a que la concha acústica del TNCR se utiliza únicamente para eventos musicales. Su valor se expresa en dB, y su rango típico va de -5 dB a 5 dB [1][3].

Definición

La definición es un parámetro que se obtiene a partir de la claridad de la voz, y funciona para estudiar la claridad en la percepción del sonido. Es una métrica adimensional, expresada como un valor entre 0 y 1, su rango típico va de 0,3 a 0,7; e indica una proporción de energía temprana con respecto a la energía total en el tiempo de reverberación. Valores altos indican que gran parte de la energía llega en los primeros instantes después de emitido el sonido, mientras que valores bajos indican que la energía se distribuye en tiempos más largos. Este segundo caso es preferible cuando la parte musical predomina sobre la voz [1].

Diferencia apenas perceptible

Todos los parámetros acústicos cuentan con un valor conocido como diferencia apenas perceptible o *Just Noticeable Difference* (JND). Este valor representa el cambio mínimo necesario que debe haber en el parámetro para que este sea perceptible por el oído humano. En el cuadro 1 se muestran los valores de JND de las medidas estudiadas. Además, es común utilizar tres veces este valor ($3 \cdot \text{JND}$) como límite para asegurar que el cambio sea perceptible.

Cuadro 1. Rango típico y JND de los parámetros T20, EDT, C80 y D50 definidos en la norma ISO 3382-1:2009 [1].

Parámetro acústico	JND	Rango típico
T20/EDT	Rel. 5%	1,0 s a 3,0 s
Claridad C80	1 dB	-5 dB a 5 dB
Definición D50	0,05	0,3 a 0,7

Respecto a la simulación acústica

La simulación acústica de un recinto se realiza cuando se quiere estudiar el comportamiento del sonido en el lugar sin hacer mediciones en el sitio. Esto permite, entre otras aplicaciones, el cálculo de parámetros acústicos. Para esto, se necesita de un modelo CAD simplificado del lugar, así como información de los materiales que más predominan, tales como el de las paredes, pisos, cielos, o el de los asientos. Es especialmente útil cuando se quieren estudiar diferentes configuraciones en un recinto sin necesidad de construirlas físicamente [4].

Para este trabajo, se utiliza COMSOL *Multiphysics* como software de simulación, el cual emplea un método de trazado de rayos para modelar la distribución del sonido en el lugar. Este software es utilizado para modelar múltiples escenarios físicos, donde el apartado de acústica es solo uno de ellos [5][6]. Un detalle para tomar en cuenta es que los algoritmos empleados para calcular parámetros acústicos a partir de simulaciones tienden a sobrestimar los valores de tiempo de reverberación y de EDT, principalmente en frecuencias bajas [7].

Materiales y métodos

Para llevar a cabo la simulación se utilizó como base un modelo CAD de la zona del Escenario y la Gran Sala del TNCR, contemplando únicamente los cerramientos perimetrales de estos espacios. Para esto, se simplificó el modelo facilitado por el Departamento de Conservación del Teatro, de forma que se llegó a una geometría tridimensional como se muestra en las Figuras 1 y 2. La simplificación de este modelo se hizo directamente a través del software COMSOL *Multiphysics*.

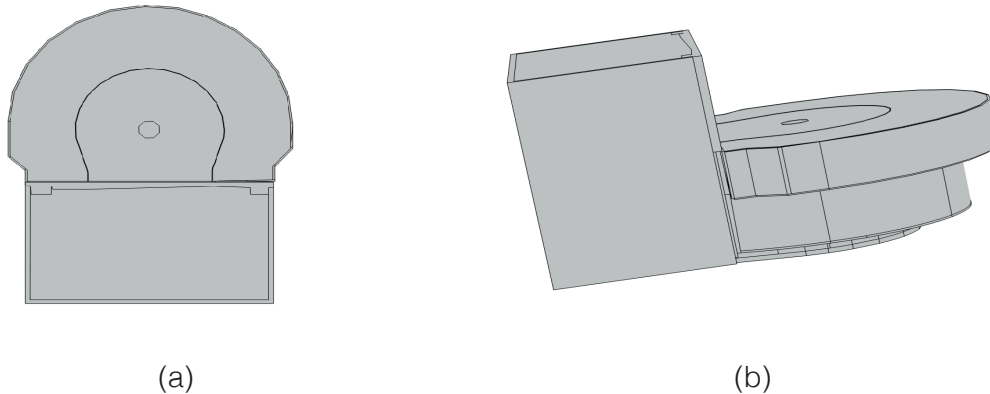


Figura 1. Parte externa de modelo CAD simplificado del Escenario y Gran Sala del TNCR utilizado para la simulación, (a) vista superior, (b) vista isométrica

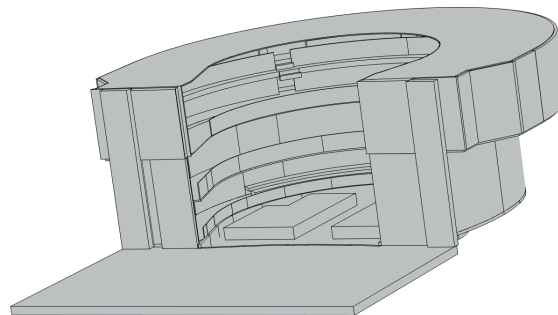


Figura 2. Vista al interior del modelo CAD simplificado desde el Escenario hacia la Gran Sala del TNCR utilizado para la simulación.

Una vez hecha la simplificación, se le asignó al modelo CAD el material más predominante a las superficies del Escenario y la Gran Sala, con base en los materiales reales del lugar. En principio, se utilizaron tres materiales diferentes para la simulación: madera, ladrillo, y un material genérico para los asientos. En la Figura 3, se muestran en azul las superficies donde se asignó ladrillo como material. A las demás superficies, se les asignó el material de madera.

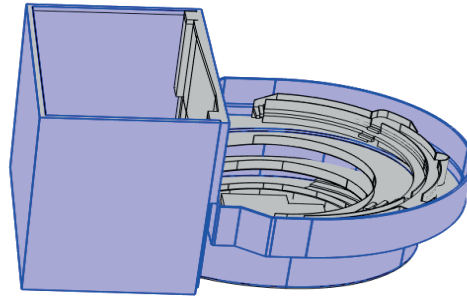


Figura 3. Modelo CAD del Escenario y Gran Sala del TNCR con las superficies a las que se les asignó ladrillo como material señaladas en azul.

Después se procedió con el mallado del modelo CAD. El mallado se utiliza para dividir la geometría del modelo en figuras geométricas más pequeñas, las cuales contienen todas las características necesarias para resolver las ecuaciones físicas que aproximan el comportamiento del sonido dentro del software. Para las simulaciones realizadas en este trabajo, se utilizó un mallado basado en triángulos de un tamaño regular, tal como se muestra en la Figura 4. Cuanto más fino sea el mallado más recursos computacionales se necesitarán para correr la simulación. Con esta configuración se corrió el modelo para determinar las variables acústicas en el TNCR.

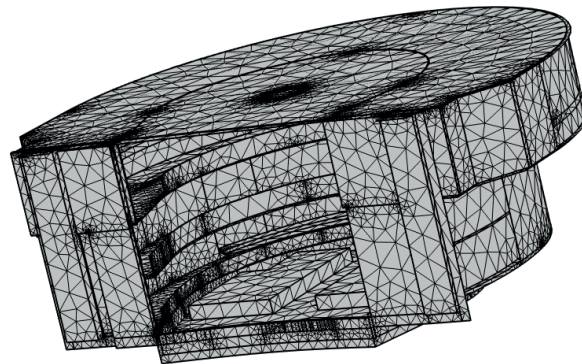


Figura 4. División de la geometría en el CAD del Escenario y Gran Sala del TNCR resultado del mallado aplicado.

Para contar con valores con los cuales comparar los resultados de la simulación, se realizaron medidas directas de sonido en el TNCR. Se utilizaron globos de 12 pulgadas como fuente de sonido en dos puntos del escenario, así como 10 puntos de medición distribuidos en diferentes zonas de butacas; además, se hicieron mediciones de la curva de decaimiento del sonido y con ella se calcularon los parámetros acústicos T20, EDT, C80 y D50 utilizando un sonómetro 3M SoundPro SE/DL. En total se obtuvieron 120 medidas, 60 con concha acústica y 60 sin ella. Los parámetros fueron calculados a partir de las curvas de decaimiento siguiendo los procedimientos descritos en la norma ISO 3382-1:2009 [1].

Como parte del análisis, se utilizaron además otros dos modelos CAD, uno con la concha acústica con la que el TNCR cuenta actualmente y otro con una propuesta de concha acústica. Para esta última, se agregaron paredes de madera alrededor la concha actual de forma tal que se terminara de cerrar el espacio, con el objetivo de analizar si de esta manera mejoran los parámetros acústicos del lugar. Los modelos CAD resultantes se pueden ver en las figuras 5 y 6 respectivamente, en ambos casos el material asignado para las conchas fue madera, igual

que la concha actual del TNCR. La propuesta de concha acústica no se aleja mucho de la que existe pues sería fácil de implementar si da buenos resultados, por limitaciones de tiempo en la ejecución de este estudio no se exploran otras posibles geometrías.

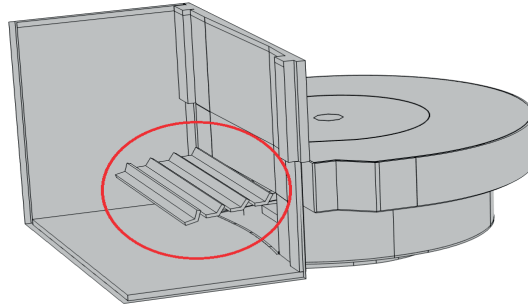


Figura 5. Modelo CAD del Escenario y Gran Sala del TNCR con la concha acústica actual señalada en rojo.

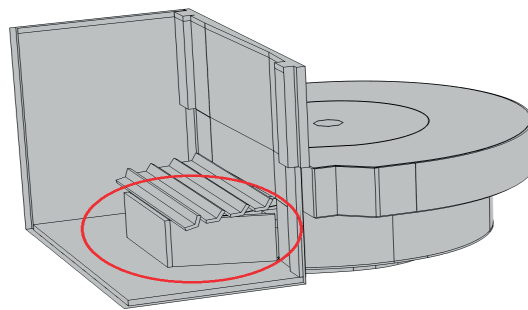


Figura 6. Modelo CAD del Escenario y Gran Sala del TNCR con la concha acústica modificada (paredes señaladas en rojo permiten cerrar más el espacio).

Los resultados obtenidos en los tres modelos utilizados para este trabajo se compararon entre sí y con valores de parámetros acústicos del lugar ya conocidos por medio de la medición.

Resultados

Uno de los resultados de la simulación fue un modelo de distribución del sonido en el Escenario y Gran Sala del TNCR (ver Figura 7), en el cual se muestra cómo se distribuye dicho sonido para diferentes valores de tiempo; además en este modelo se grafica cómo el sonido ya se ha distribuido en toda la zona de el escenario y está por llegar hasta las butacas traseras, en un tiempo de 0,07 segundos.

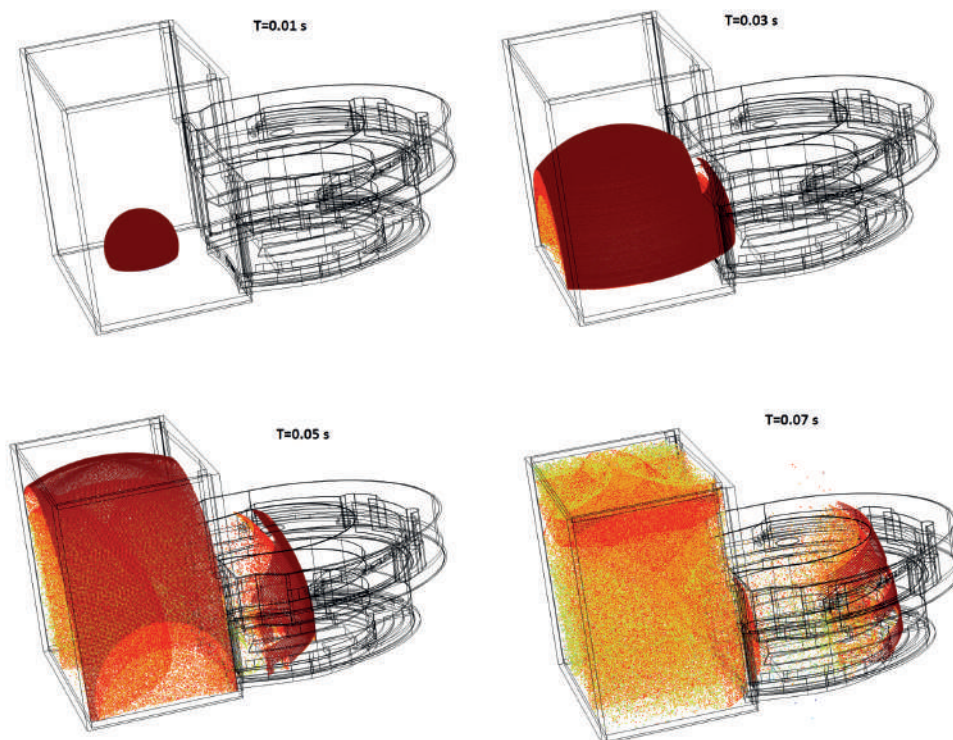


Figura 7. Modelo de la distribución del sonido en el Escenario y Gran Sala del TNCR.

A partir de esta distribución, el software calculó los parámetros acústicos T20, EDT, C80 y D50. Se compararon los valores medidos en el TNCR con y sin concha acústica, con los obtenidos por medio de la simulación, estos valores se resumen en el cuadro 2. Los resultados resumidos de los parámetros acústicos obtenidos para el modelo sin concha acústica se muestran en la Figura 8.

Cuadro 2. Parámetros acústicos en el Escenario y Gran Sala del TNCR ya conocidos a partir de mediciones en el sitio.

Frecuencia (Hz)	Sin concha acústica				Con concha acústica			
	T20 (s)	EDT (s)	C80 (dB)	D50	T20 (s)	EDT (s)	C80 (dB)	D50
125	1,2533	1,2724	1,6373	0,4300	1,1982	1,2070	1,8494	0,4403
250	1,0218	1,0478	2,9860	0,4956	1,0814	1,0911	2,5560	0,4747
500	0,9285	0,9372	3,6794	0,5288	0,9723	0,9782	3,3360	0,5124
1000	1,0237	1,0253	2,9474	0,4937	1,0497	1,0557	2,7464	0,4840
2000	0,9437	0,9449	3,4882	0,5197	0,9845	0,9870	3,1788	0,5049
4000	1,1252	1,1275	2,2414	0,4594	1,1572	1,1594	2,0493	0,4500
8000	1,3415	1,3553	1,0930	0,4036	1,3655	1,3661	0,9810	0,3982

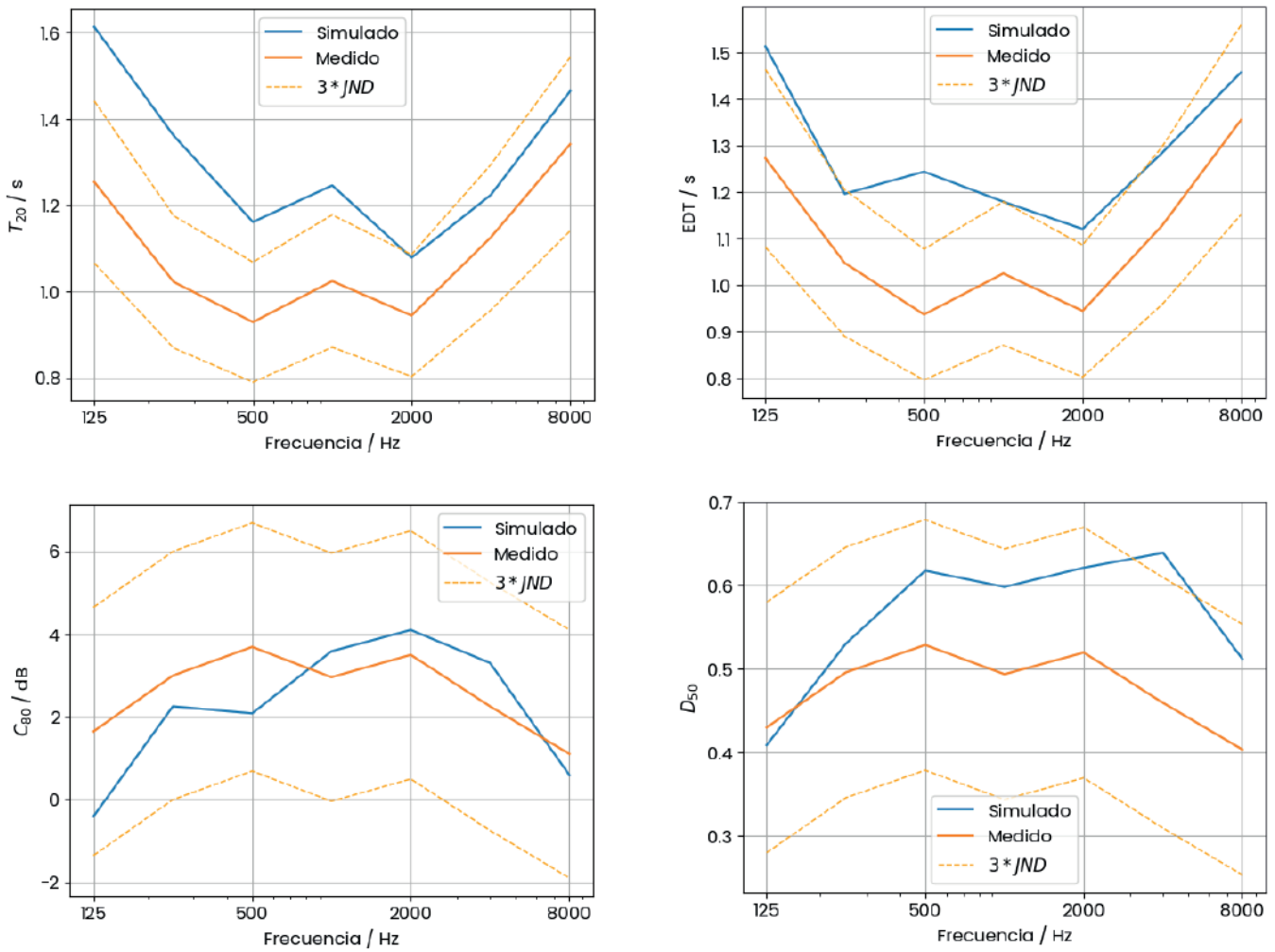


Figura 8. Gráficas resumen de los parámetros acústicos obtenidos de la simulación para el modelo sin concha acústica.

En las gráficas de la Figura 8, se observa como los parámetros de T_{20} y EDT tienden a sobrestimarse, principalmente para las frecuencias más bajas. Los parámetros C_{80} y D_{50} tienen un comportamiento más cercano a los medidos en el sitio. Como ya se mencionó anteriormente, es común que los parámetros T_{20} y EDT sean sobrestimados por los algoritmos que hacen el cálculo a través de simulación, por lo que no es de extrañar que ocurra también para este caso [7]. Para el modelo con la concha acústica actual, se muestra un resumen de los resultados en las gráficas de la Figura 9.

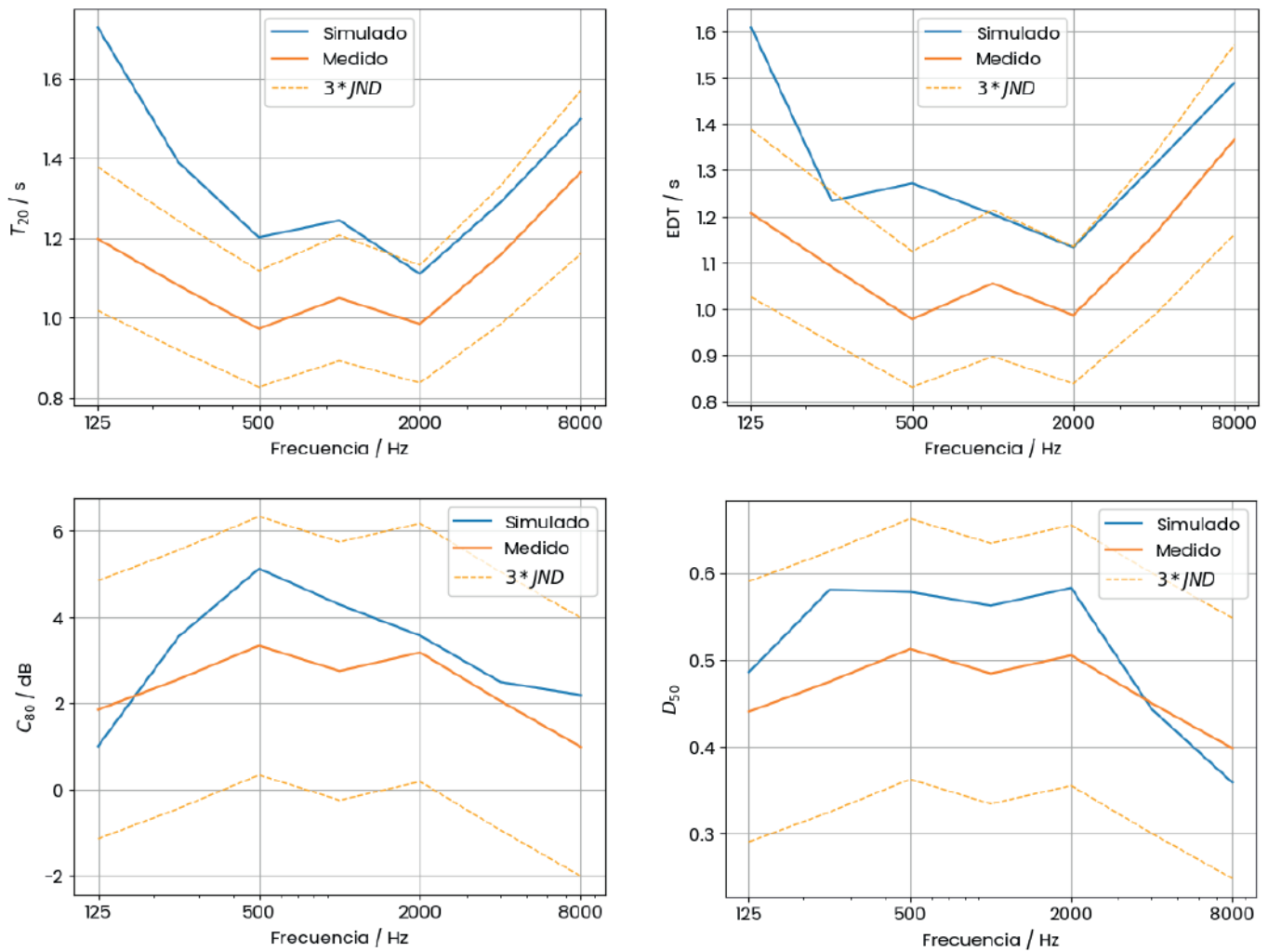


Figura 9. Gráficas resumen de los parámetros acústicos obtenidos de la simulación para el modelo con la concha acústica actual.

Nuevamente, los parámetros T_{20} y EDT son sobrestimados en la simulación, principalmente en las frecuencias más bajas. Los parámetros C_{80} y D_{50} se ajustan mejor a los valores calculados a partir de la medición en sitio. De esta manera, se observa como el software logra acercarse a los parámetros acústicos, considerando se espera que los parámetros T_{20} y EDT se sobrestimen en las frecuencias bajas.

Por último, se obtienen los resultados para el modelo con la concha acústica propuesta. En la Figura 10, se muestra la comparación entre los parámetros acústicos de la concha propuesta con los obtenidos de las simulaciones con los modelos anteriores.

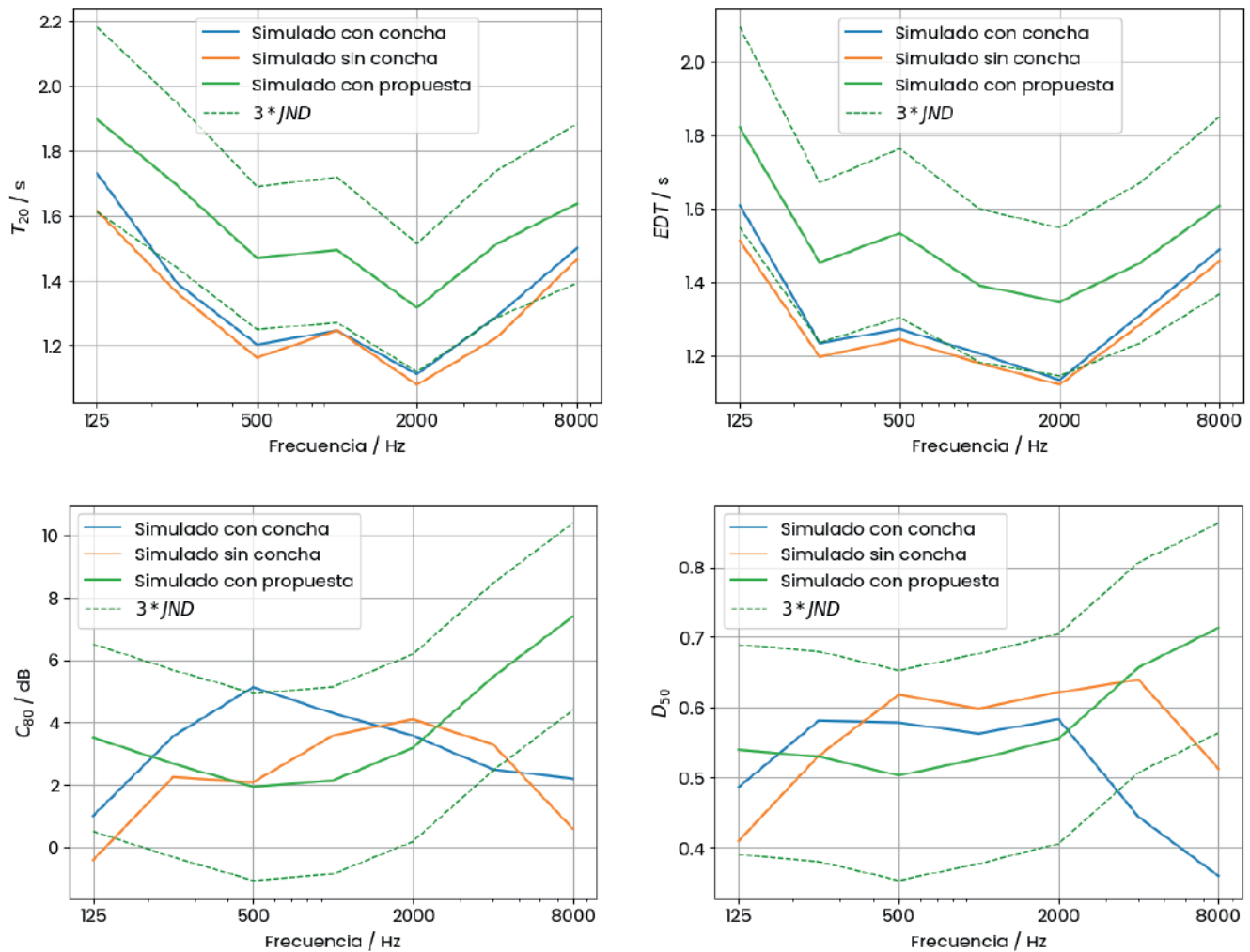


Figura 10. Gráficas resumen de los parámetros acústicos obtenidos de la simulación para el modelo con la concha acústica propuesta en comparación con los obtenidos de los demás modelos.

Lo primero a destacar de estas gráficas es que los gráficos de T₂₀ y EDT parecen tener el mismo comportamiento que los obtenidos de los modelos anteriores, pero ahora con valores más altos en todas las frecuencias. Sin embargo, en ambos casos los valores se ubican alrededor del límite de 3*JND, lo cual da entender que el cambio es apenas perceptible por el oído humano.

Para el caso de los parámetros C₈₀ y D₅₀, no se mantiene el mismo comportamiento que los obtenidos de los modelos anteriores, aunque los cambios parecen ser no perceptibles para la mayoría de las frecuencias estudiadas, ya que tienden a mantenerse en el rango delimitado por 3*JND. Estos comportamientos dan a entender que la concha acústica propuesta logra aumentar los valores de T₂₀ y EDT para todas las frecuencias analizadas, pero que afectan de forma poco predecible y perceptible los parámetros C₈₀ y D₅₀.

Para relacionar los valores de T₂₀ obtenidos en la simulación con los valores esperados en el sitio con concha acústica, sin que la sobrestimación inherente al software tenga un impacto significativo, se propuso calcular el cambio porcentual en T₂₀ al comparar el modelo con la concha acústica propuesta con el modelo de la concha actual. A partir de este análisis, en el Cuadro 3 se presentan los cambios porcentuales entre ambas simulaciones, mostrando los valores T₂₀ que se esperarían si se implementara la concha acústica propuesta.

Cuadro 3. Valores de T20 esperados en el Escenario y Gran Sala del TNCR si se colocara la concha acústica propuesta.

Frecuencia (Hz)	T20
125	1,3137
250	1,3156
500	1,1877
1000	1,2594
2000	1,1666
4000	1,3571
8000	1,4904

Según el resultado del Cuadro 3, se estarían obteniendo valores más altos de T20 en todas las frecuencias, pero solo la frecuencia de 8000 Hz estaría alcanzando el mínimo recomendado de 1,4 s a 1,8 s. Este es el resultado obtenido con el modelo de concha acústica propuesto, sin embargo, el software deja la posibilidad de ejecutar la simulación utilizando geometrías y materiales diferentes para hacer comparaciones entre distintas configuraciones, trabajo que se considera hacer a futuro.

Conclusiones

Este trabajo permitió evaluar y comparar los parámetros acústicos del TNCR a través de simulaciones en COMSOL *Multiphysics* a partir de tres modelos CAD: sin concha acústica, con la concha acústica actual y con una propuesta de diseño. Los resultados mostraron que los parámetros T20 y EDT tendieron a sobrestimarse en las simulaciones, principalmente en frecuencias bajas, lo cual coincide con estudios previos. Los parámetros C80 y D50 se acercaron más a los valores teóricos esperados en todas las frecuencias analizadas. Se confirma que COMSOL *Multiphysics* es una herramienta útil para modelar la acústica de diferentes espacios, aunque presenta ciertas imprecisiones en la estimación de T20 y EDT en bajas frecuencias.

Según la simulación, la concha actual mejora la claridad del sonido, además logra aumentar los valores de T20 y EDT, pero no lo suficiente para alcanzar el rango recomendado de 1,4 s a 1,8 s; es decir, su impacto en la reverberación es limitado, lo que indica que no está optimizada para maximizar la proyección sonora.

La concha acústica propuesta logra un incremento en T20 y EDT, aunque no alcanza los valores recomendados. Se recomienda, al TEC y al TNCR, que mediante futuras investigaciones o trabajos finales de graduación se exploren materiales más reflectantes y geometrías que optimicen la distribución del sonido desde el Escenario hacia la Gran Sala, dirigiendo una mejor calidad de sonido hacia el público.

En este trabajo se muestra el potencial de la simulación acústica para explorar con diferentes configuraciones de geometría y material en el diseño de conchas acústicas. En el caso del TNCR, la metodología propuesta permite identificar mejoras para los parámetros acústicos del lugar, lo cual puede funcionar como una base para futuros análisis.

Agradecimientos

Se agradece a los diferentes departamentos del Teatro Nacional de Costa Rica, especialmente al Departamento de Conservación, los cuales no solo permitieron y facilitaron la ejecución de los análisis en sitio, sino que también facilitaron la información necesaria para realizar el estudio.

Se agradece a la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental (EISHLA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por su apoyo con el préstamo del equipo de medición de sonido en reiteradas ocasiones.

Referencias

- [1] ISO 3382-1:2009 *Acoustics -Measurement of room acoustics parameters-*, Estándar, International Organization for Standardization, 2009.
- [2] F. Everest, *Master Handbook of Acoustics*. McGraw-Hill, 2001.
- [3] A. Delgado y B. Méndez, "Análisis Acústico del Teatro Nacional de Costa Rica a partir de sus Respuestas Impulsionales", *Tecnología en Marcha*, 2024.
- [4] X. Zhu, G. Xu, J. Kang, X. Xue y Y. Hao, "Influence of Surface Scattering on Auditorium Acoustic Parameters," *Buildings*, vol. 14, n.o 6, 2024. doi: 10.3390/buildings14061882.
- [5] E. García Medina, "Diseño y elaboración de un modelo para la estimación del tiempo de reverberación de un recinto utilizando COMSOL", Madrid, jul. de 2023. dirección: <https://oa.upm.es/80652/>.
- [6] A. Fernández Maldonado, "Diseño de un modelo acústico virtual del Teatro Auditorio Buelo Vallejo de Guadalajara", Madrid, jul. de 2021. dirección: <https://oa.upm.es/70348/>.
- [7] F. Brinkmann, L. Aspöck, D. Ackermann, S. Lepa, M. Vorländer y S. Weinzierl, "A round robin on room acoustical simulation and auralization," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 145, n.o 4, págs. 2746-2760, abr. de 2019, issn: 0001-4966. doi: 10.1121/1.5096178.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.


Bloques de tierra comprimida como alternativa sostenible para su integración en sistemas constructivos convencionales en la ciudad de Liberia


Compressed earth blocks as a sustainable alternative for their integration into conventional construction systems in the city of Liberia

Esteban Francisco Quirós-Ramírez¹, Francisco Castillo-Camacho²

Quirós-Ramírez, E.F; Castillo-Camacho, F. Bloques de tierra comprimida como alternativa sostenible para su integración en sistemas constructivos convencionales en la ciudad de Liberia. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 72-83.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8291>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 equiros.arq@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0009-4259-8219>

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 arqfranciscocastillo@yahoo.com



Palabras clave

Tierra cruda; granulometría; propiedades organolépticas; propiedades higrotérmicas; construcción sostenible.

Resumen

Debido al impacto del sector de la construcción sobre la crisis climática, este se ha acercado cada vez más a prácticas constructivas que utilizan materiales locales abundantes. Los bloques comprimidos utilizan uno de los materiales locales más antiguos, la tierra, que con el tiempo fue desplazada por sus debilidades en la resistencia sísmica. Sin embargo, esas debilidades han sido superadas mediante su estabilización y evolución con tecnologías modernas y nuevas técnicas de construcción. En el entorno de Costa Rica, la arquitectura de la ciudad de Liberia se ha caracterizado por contar con más de cien ejemplos de construcción con tierra mediante la aplicación del adobe y el bahareque, pero no ha adaptado este material sostenible y de buen desempeño higrotérmico a técnicas más seguras y eficientes, como los bloques de tierra comprimida. En este documento, se evalúan las propiedades constructivas de la tierra de Liberia mediante pruebas granulométricas de campo y se detalla el proceso de fabricación de bloques de tierra comprimida que estabilice este material para integrarlo en la construcción convencional. Este artículo tiene como marco el proyecto de investigación “La incidencia del uso de la tierra de la ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación”, desarrollado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en cooperación con la Asociación para la Cultura de Liberia.

Keywords

Raw earth; granulometry; organoleptic properties; hygrothermal properties; sustainable construction.

Abstract

Due to the impact of the climate crisis on the construction sector, it has increasingly shifted toward construction practices that utilize abundant local materials. Compressed blocks utilize one of the oldest local materials, earth, which was displaced over time due to its weak seismic resistance. However, these weaknesses have been overcome through stabilization and evolution with modern technologies and new construction techniques. In the Costa Rican environment, the architecture of the city of Liberia has been characterized by more than one hundred examples of earth construction through the application of adobe and bahareque, but has not adapted this sustainable material with good hygrothermal performance to safer and more efficient techniques, such as compressed earth blocks. In this paper, the constructive properties of Liberian soil are evaluated through granulometric field tests and the manufacturing process of compressed earth blocks that stabilize this material to integrate it into conventional construction is detailed. This article is part of the research project “The incidence of the use of soil from the city of Liberia as a construction material in the hygrothermal performance of interior spaces through simulation techniques”, developed by the Technological Institute of Costa Rica in cooperation with the Association for the Culture of Liberia.

Introducción

En el ámbito de la construcción, se ha observado un creciente interés por parte del sector en reducir su impacto en la crisis climática. Debido a esto, se han multiplicado los esfuerzos por adaptar prácticas y técnicas constructivas con materiales menos contaminantes y más accesibles. Uno de estos materiales es la tierra cruda, entendida como aquella que no ha sido sometida a un proceso químico de cocción para su uso y que en consecuencia no genera emisiones de carbono en su elaboración.

En América Latina, Brasil, Colombia y Perú son los países que cuentan con mayor número de normativas dedicadas a regular la construcción con tierra, con documentos diversos enfocados en las técnicas de bloques de tierra comprimida y adobe principalmente [1], pero la ausencia de una homogeneidad entre las distintas normativas existentes dificulta todavía una aplicación estandarizada en países que carecen de una regulación específica en esta materia. Sin embargo, las recomendaciones y guías en estas normativas existentes son un marco de referencia para arquitectos, ingenieros y constructores en la correcta selección, estabilización y prueba de la tierra a utilizar para hacer de la construcción con esta una forma segura de implementar un recurso local, renovable, de baja huella de carbono y con múltiples beneficios energéticos, higrotérmicos y socioeconómicos en nuestras construcciones [2].

A pesar de poseer múltiples construcciones con tierra cruda, Costa Rica forma parte de los países que no cuentan con un desarrollo normativo específico para su uso, sino que este se encuentra rigurosamente regulado por el Código Sísmico, el cual no prohíbe completamente su aplicación en Costa Rica [3]. Es la combinación de altos estándares de resistencia y regulaciones poco específicas lo que ha contribuido a las dificultades actuales para reinsertar estos métodos tradicionales con tierra en los procesos modernos de construcción en Costa Rica.

Un método innovador en su uso de la tierra como materia prima son los bloques de tierra comprimida (BTC), una evolución significativa hacia la mejora de la resistencia y la flexibilidad de las construcciones con tierra cruda. Estos bloques, elaborados a partir de tierra, agua y un agente estabilizante, son sometidos a un proceso de compresión para formar bloques sólidos y resistentes. Estos bloques han sido objeto de múltiples investigaciones orientadas a mejorar su resistencia, reducir el riesgo de lesiones por compresión y aumentar su resistencia a la erosión causada por el agua, resultando en construcciones de tierra cruda que conservan sus propiedades de regular la temperatura interna de los espacios y de absorber y exhalar la humedad del aire [4].

Debido a sus propiedades de retraso térmico y control de la humedad interna, el uso de bloques de tierra comprimida ha sido predominante en los climas cálidos, templados y secos del mundo [1]. En Costa Rica, uno de los lugares con este clima y con el mayor potencial para incorporar estos bloques en sus sistemas constructivos es el centro urbano de Liberia, esta ciudad cuenta con más de 120 inmuebles edificados con tierra como materia prima usando técnicas tradicionales y hasta 9 de estos poseen una declaración de patrimonio o de interés cultural por parte del gobierno de Costa Rica [6] [7], pero no se registra un esfuerzo por integrar nuevos sistemas constructivos en tierra que sean diferentes al adobe y al bahareque para responder a las exigencias y necesidades de la construcción convencional actual.

A partir del conocimiento empírico en construcción con tierra cruda a del arquitecto Francisco Castillo e investigaciones basadas en el conocimiento técnico y las recomendaciones derivadas de normativas internacionales, esta investigación detalla el proceso de selección, recolección y estudio mediante pruebas de campo del suelo de Liberia para validar su uso en la construcción con bloques de tierra comprimida, así como el proceso y recomendaciones para la fabricación de estos haciendo uso de este suelo como materia prima.

Metodología

Para el desarrollo de este estudio se recolectaron muestras de suelo para valorar su potencial en la fabricación de bloques de tierra comprimida. Estas muestras fueron recolectadas en un área situada aproximadamente a cinco kilómetros del centro urbano de Liberia con el acompañamiento y guía de José Luis Villareal, conocido como "Güicho Pizarro", para garantizar que la tierra tuviera las mismas características y orígenes que la que fue utilizada en las antiguas construcciones de adobe y bahareque de Liberia. Recientemente, fue él quien colaboró en la ubicación y transporte de la tierra utilizada en la restauración de las paredes de la antigua gobernación de Liberia para que conservaran sus propiedades originales [8], misma tierra utilizada en este estudio. Las muestras se recolectaron de suelos superficiales con una profundidad no mayor a cincuenta centímetros, evitando la presencia de materia orgánica y contaminantes en las muestras.

Se llevaron a cabo pruebas organolépticas sobre las muestras de tierra con el propósito de caracterizar su origen, tipo de suelo y composición física preliminar. Estas son pruebas sencillas de campo que permiten caracterizar los suelos a través de sentidos como el tacto y el olfato [4]. Las pruebas se realizaron con muestras de tierra viva, es decir, muestras que se mantuvieron con el mismo estado y apariencia que tenían a la hora de ser recolectadas en sitio. El objetivo de conservar la tierra con sus propiedades originales es el de conocer todos los componentes de esta a lo largo de la prueba de campo.

Se realizaron también pruebas granulométricas mediante el método de sedimentación en botella para conocer el tamaño de las partículas que componen la muestra de suelo. Esta prueba consiste en llenar un recipiente con partes iguales de agua y tierra y revolver ambas hasta conseguir una muestra heterogénea. El agua separa los componentes de la muestra de tierra asentando aquellos más densos, la grava, en el fondo y los más ligeros, la arcilla, en la parte superior [9]. Una vez separados todos los componentes de la muestra, es posible realizar una medición de las proporciones de arcilla, limo y arena que la componen, así como del tamaño de estas partículas.

Una vez identificada la composición de las muestras se fabricaron dos bloques de tierra comprimida, utilizando dos granulometrías distintas y añadiendo cemento como estabilizante y agua a la tierra, compactando la mezcla en una máquina compactadora manual. La composición del volumen de cada bloque fue de un 80% aproximado de tierra de Liberia con un 9,10% de cemento y entre un 10% y un 12% de agua, proporciones que se validaron mediante una prueba de humedad. La mezcla resultante se compactó manualmente para eliminar el aire y aumentar su densidad. Una vez compactados los bloques, se extrajeron de la máquina y se dejaron secar a la sombra, con un proceso de curado mediante riego manual fino para evaluar la compactación y resultado estructural de los bloques fabricados quince días después de su compactación.

Resultados

Recolección de muestras de tierra en sitio y caracterización preliminar del suelo

En la mayor parte del cantón de Liberia y por lo tanto en el área de recolección de las muestras, los suelos pertenecen a la categoría de entisoles, suelos derivados de la erosión del material desprendido de formaciones rocosas y con un origen relativamente reciente, lo que también los hace estar débilmente desarrollados [11]. Este tipo de suelos jóvenes se forma por la erosión de abanicos aluviales y llanuras de inundación, como el cañón del río Liberia, una grieta compuesta por múltiples formaciones de rocas afiladas, zonas boscosas de vegetación enana y suelos minerales de baja fertilidad y tonos blancuzcos.

Las muestras de tierra utilizadas en este estudio se extrajeron en las cercanías del cañón del río Liberia, en una zona ubicada a unos cinco kilómetros del centro de Liberia y camino hacia el basurero de esta ciudad, en las faldas del volcán Rincón de la Vieja. La zona se caracteriza por su aridez y la abundancia de cascajo [10], el material blancuzco similar a la roca utilizado en la construcción de las calles de la ciudad y que le da a Liberia el distintivo de “La Ciudad Blanca”. La presencia de este material, compuesto principalmente de piedra pómez y cuarzo, fue indicador de las cualidades minerales en los suelos de la zona.



Figura 1. Ubicación del sitio de recolección de las muestras en Liberia.

La extracción de la tierra se hizo mediante una pala para separarla y cubetas para su transporte. Fue importante diferenciar la tierra del cascajo a la hora de la extracción ya que, como se mencionó anteriormente, este último se compone principalmente de piedra y minerales y no de tierra. La mejor forma de diferenciar entre la tierra y el cascajo es a través de su color, siendo este último mucho más claro en comparación.

En primera instancia, fue posible identificar características del suelo que indican su composición. La presencia de grumos o agregados de tierra que se pulverizan fácilmente indicó la existencia de arcilla. La textura de la tierra, al ser áspera al tacto, sugiere la presencia de arena, componente esencial para la consistencia de los bloques que se obtendrán a partir de esta tierra. Por último, el color claro y el olor predominantemente mineral de los suelos evidenció una baja presencia de materia orgánica, que no es un componente deseado en la muestra y debe ser evitado. Los suelos con elevado contenido orgánico resultan idóneos para la agricultura y la ganadería, pero presentan dificultades para su uso en la construcción. La facilidad con la que se ha identificado tierra sin materia orgánica en este sitio y a una profundidad tan reducida pone de manifiesto su potencial como punto de extracción de tierra para su uso en la construcción.



Figura 2. Identificación de la tierra en sitio y observación preliminar de sus propiedades.

Caracterización organoléptica mediante pruebas de campo

Para la caracterización organoléptica de la tierra se utilizaron muestras de tierra viva, es decir, que mantuvieran las características que tenían al momento de su extracción. En la muestra de tierra se observaron elementos de mayor tamaño correspondientes a agregados, grava y piedras. Las piedras o grava de mayor tamaño no forman parte de la muestra de tierra y debieron ser separados de ésta para la realización de las pruebas, dejando solo los agregados [9].



Figura 3. Muestra de tierra viva de Liberia.

Como se mencionó anteriormente, la prueba se realizó con tierra viva que estuviera además en estado seco al tacto y que fuera imposible de modelar. Los agregados de tierra en estado seco evidenciaron la presencia de arcilla, que funciona como aglutinante y forma pequeñas aglomeraciones compactas de tierra [9]. Este resultado es favorable ya que la presencia de arcilla es necesaria en los suelos para la fabricación de bloques de tierra comprimida. Sin embargo, una concentración excesiva de esta en la tierra provoca que los bloques fabricados sean más susceptibles a fallas y fracturas, por lo que necesitan una mayor cantidad de

cemento para ser estabilizados. A pesar de que los agregados de tierra no fueron difíciles de pulverizar, lo que indica una cantidad de arcilla que no es excesiva, fue necesario determinar si la concentración de esta era adecuada mediante las pruebas siguientes.

Se agregó agua a la muestra para llevarla a un estado húmedo, donde no pudiera ser moldeada y se pudiera desmoronar. En este estado, es posible identificar la presencia de humus en la tierra a través de su aroma. El humus corresponde a la capa más superficial de los suelos y es donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica, lo que les da un color más oscuro debido al carbono que contiene [12]. En contacto con el agua, este componente orgánico del humus se percibe fácilmente por su olor característico, que comúnmente asociamos con “olor a tierra mojada”. Al olfatear la muestra de tierra en estudio, no se percibió este aroma, lo que, en conjunto con su tono de color claro, indican una baja presencia orgánica en la tierra [9]. La materia orgánica es un componente que no es necesario para la fabricación de bloques de tierra comprimida y que complica su estabilización, ya que se necesita una mayor cantidad de cemento para hacerlo. Por este motivo, una tierra de características más minerales que orgánicas es favorable al ser más eficiente en el uso del cemento en la fabricación de bloques de tierra comprimida [13].

Finalmente se agregó agua a la muestra hasta llevarla a un estado plástico, donde pudiera ser moldeada y no se desmoronará, para conocer su capacidad de absorber el agua. Una rápida absorción indicaría la presencia mayoritaria de arena y una absorción lenta, de arcilla [9]. Al agregar agua a la muestra, hubo dificultad para incorporar el agua y la tierra en una mezcla más homogénea, lo que indica una importante cantidad de arcilla en la composición de los suelos. Se observó además que, en este estado plástico, la capacidad de la muestra para filtrar el agua fue baja y tardó en ser absorbida, lo que demostró que es una tierra con una mayor cantidad de limos y arcillas que de arena, pero en una proporción adecuada y no excesiva al permitir la filtración del agua.



Figura 4. Caracterización organoléptica por etapas.

Prueba de granulometría mediante sedimentación en botella

La tierra estabilizada, al combinarse con un estabilizante químico, mejora sus condiciones y propiedades constructivas. Pruebas realizadas para la optimización de bloques de tierra comprimida [14] han demostrado que, mediante el control de la granulometría del suelo, que es la distribución cuantitativa de los tamaños de las partículas que lo componen, es posible reducir la necesidad de estos estabilizantes químicos. Un suelo de granulometría adecuada y bien

graduada es donde la proporción de las partículas de mayor tamaño como la arena conformen una base sólida y resistente, mientras que las partículas de menor tamaño como los limos y arcillas rellenen los espacios entre estas, aglutinando el suelo naturalmente [14]. Experiencias pasadas en la fabricación de bloques de tierra comprimida en Costa Rica han demostrado que una graduación ideal de los suelos utilizados es de un 40% de arena, y un 60% de limos y arcillas en su composición, siempre y cuando el porcentaje de arcillas no supere el 25% ni sea inferior al 10% [15].

Para identificar la granulometría del suelo de Liberia, se realizó una prueba de “sedimentación en botella” [9] colocando una muestra de tierra en un recipiente de vidrio y vertiendo aproximadamente la misma cantidad de agua para disolver la muestra, la cual se agitó y se dejó en reposo durante 48 horas [15]. Poco a poco, los elementos más densos de la tierra, la grava y arena, se asentaron en el fondo de la botella y los más ligeros, el limo y la arcilla, en su parte superior. Adicionalmente, todos los componentes orgánicos presentes en la muestra de tierra se desprendieron de ésta y flotaron sobre el agua. La prueba de sedimentación en botella demostró que la composición de la muestra de tierra tomada en Liberia corresponde aproximadamente a un 23,73% de arcilla, un 35,59% de limo y un 40,68% de arena, con una mínima cantidad de elementos orgánicos en forma de raíces y madera, lo que permitió clasificarla como un “suelo arenoso” al ser este su componente predominante.

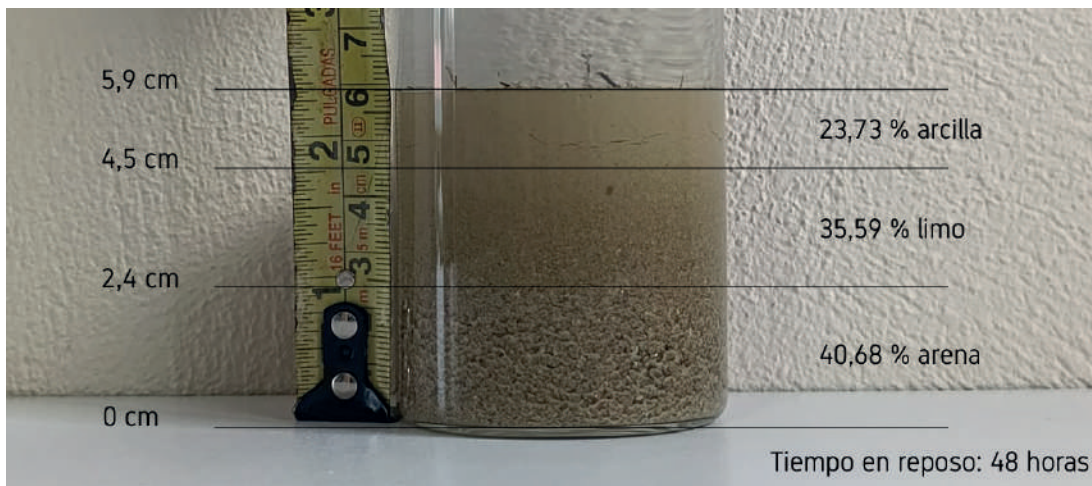


Figura 5. Resultado de granulometría de la muestra de tierra de Liberia mediante prueba de sedimentación en botella.

Para la fabricación de bloques de tierra comprimida, estas propiedades se traducen en una arena con una granulometría más cercana al mínimo aceptable que al máximo aceptable, donde sin embargo el contenido de arena de la muestra garantiza la rigidez de los bloques y una adecuada resistencia a la erosión provocada por el agua [2][14]. A pesar de que el limo tiene partículas muy finas que reducen la cohesión interna y dificultan la compactación, la arcilla, de alta plasticidad y dentro del límite recomendado del 25%, asegura una adecuada cohesión entre la tierra y el cemento, se comprime lentamente en la fabricación del bloque, mantiene activamente su esencia impermeable, absorbe grandes cantidades de agua y, por lo tanto, aumenta el volumen del bloque al compactarse. [15].

Según los parámetros de granulometría establecidos anteriormente, las proporciones identificadas de los tres elementos de la muestra son ideales para la estabilización de la tierra con reducidos aditivos químicos. Este resultado permite catalogar la muestra de tierra analizada

como un suelo resistente de buena cohesión que no requiere grandes cantidades de aditivos para ser estabilizada, lo que permite la experimentación con menores cantidades de cemento para la fabricación de bloques de tierra comprimida [15].

Fabricación de los bloques

Al identificar el tipo de suelo de donde se tomaron las muestras como uno “arenoso” mediante pruebas organolépticas y granulométricas, se calculó el porcentaje seguro de cemento necesario para estabilizar este tipo de tierra en un 9,10% [15]. Este porcentaje define que para fabricar bloques con este tipo de suelo son necesarias proporciones máximas de doce partes de tierra por una de cemento (una proporción de 12:1), y mínimas de 8 partes de tierra por una de cemento (una proporción de 8:1). Estas proporciones fueron las utilizadas en la fabricación de los bloques de este estudio.

La investigación “*Optimización del proceso de elaboración de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) mediante el control granulométrico de las partículas del Suelo*” [14] encontró que un 12% de agua en la composición de la mezcla de tierra para el bloque es ideal para mejorar la resistencia y trabajabilidad. Los estudios identificaron además que un porcentaje del 10% o menor vuelve la mezcla quebradiza, mientras porcentajes superiores al 16% reducen su resistencia mecánica [14]. Mediante una prueba de humedad se confirmó que la consistencia y cohesión de la tierra, el cemento y el agua era adecuada para que al ser comprimida conservara su forma durante la fase de secado al aire. La prueba consistió en comprobar que la mezcla de tierra al ser modelada hasta marcar los dedos de la mano pudiera separarse en dos partes sin desmoronarse.



Figura 6. Prueba manual para verificar la cantidad de agua requerida en la hidratación de la tierra más cemento.

La prueba comprobó que la hidratación de la mezcla de tierra y cemento era la adecuada para conseguir una correcta compactación del material, por lo que se procedió a fabricar bloques de tierra comprimida utilizando una máquina compactadora manual. Para el primer ladrillo, se utilizó una tierra cernida con un filtro de malla fina, lo que significó en esta tierra un contenido menor de arena. Este ladrillo se fabricó utilizando una proporción de tierra de ocho partes de tierra por una de cemento (8:1) En el ladrillo resultante de 30cm x 15cm x 10cm se constató que el bajo contenido de arena y limo provocan deterioros leves en las esquinas y bordes del ladrillo, donde una poca cantidad de agua fue suficiente para erosionar el ladrillo en esos puntos [15]. Sin embargo, la compactación y resultado estructural a los 15 días de secado natural del ladrillo resultó buena.

Una segunda prueba de compactación con tierra sin cernir, con el fin de permitir partículas de arena mayores, y una proporción de doce partes de tierra por una de cemento (12:1) que evidenció mejoras en la cohesión tanto interna como superficial del ladrillo de 30cm x 15cm x 10cm. En este caso, se obtuvieron mejores resultados cuando el contenido de arena de la tierra era mayor, a pesar de que se utilizó menos cemento como estabilizante.

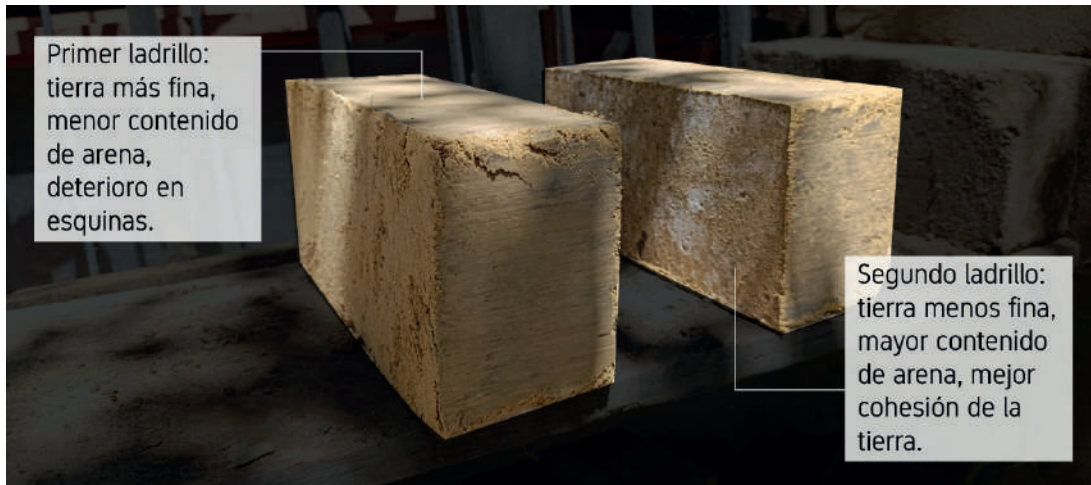


Figura 7. Bloques comprimidos fabricados con tierra de Liberia.

Conclusiones (discusión)

Los suelos muy arenosos o arcillosos requieren más cemento para estabilizarse, mientras que los suelos con limo como constituyente básico reducen sus capacidades estructurales. Los estudios realizados y la experiencia en construcción con bloques de tierra comprimida en el país sugieren que la proporción ideal entre arena y limo-arcilla es de 40% y 60%, respectivamente, mientras la arcilla no supere el 25% del total [15]. La prueba de sedimentación aplicada a la muestra comprueba que el tipo de tierra de Liberia corresponde a un suelo arenoso con proporciones ideales para la fabricación de bloques de tierra comprimida, ya que su componente principal, la arena, es ligeramente superior al 40%, lo que se traduce en buenas propiedades mecánicas, de compactación y de resistencia a la erosión del agua. Por otro lado, su porcentaje de arcilla superior al 10% pero menor que el 25%, proporciona buena cohesión a los componentes del bloque y permite reducir la cantidad de cemento necesaria para su fabricación, permitiendo proporciones de hasta 12:1.

El reducido uso de cemento como agente estabilizador que permite la tierra de Liberia juega un papel fundamental no solo como estabilizador eficiente de la tierra, sino en el ámbito sociocultural y económico respecto a costos adecuados que impacten y den opciones a las comunidades como usuario final, haciendo los suelos de Liberia una excelente opción para su uso en bloques de tierra comprimida optimizando el uso de recursos constructivos y económicos. La abundancia de este recurso, sus propiedades constructivamente sostenibles y su reducido costo económico y material lo convierten en una excelente opción constructiva para ser introducida en la construcción convencional de Liberia.

Al fabricar bloques con esta tierra proveniente de Liberia, debe tenerse en cuenta que una de sus principales virtudes es la suficiente cantidad de arena presente en su composición, por lo que, a la hora de cernir la tierra que se va a utilizar, deben utilizarse filtros con un tamaño de malla no superior a 7 milímetros ni inferior a 5 milímetros, de manera que puedan filtrarse la grava y las piedras sin comprometer el contenido de arena de la tierra. Una adecuada

compactación de los bloques, el cuidado del secado de la tierra cernida, la protección bajo techo de los bloques fabricados durante su fraguado y un riego fino son también cuidados necesarios para un adecuado proceso de elaboración de ladrillos que puedan ser utilizados en la construcción convencional.

Las pruebas y valoraciones realizadas sobre las muestras de suelo y los bloques de tierra comprimida fabricados con esta corresponden al conocimiento empírico de los autores e investigaciones basadas en el conocimiento técnico y las recomendaciones derivadas de normativas internacionales, dando resultados satisfactorios según ambas fuentes. Es recomendable profundizar los resultados de esta investigación mediante la aplicación de pruebas de laboratorio a sus productos que permitan además una extrapolación de ambos resultados.

Referencias

- [1] J. Cid, F. R. Mazarrón, y I. Cañas, “Las normativas de construcción con tierra en el mundo”, *Inf. Constr.*, vol. 63, núm. 523, pp. 159–169, 2011.
- [2] A. Sarker y I. Mahmud, “Compressed Stabilized Earth Block as a Sustainable Building Material”, *Civil and Environmental Research*, vol. 10, núm. 2018, pp. 49–53, 2018.
- [3] CFIA, “Código Sísmico de Costa Rica”, www.cfia.or.cr, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.cfia.or.cr>. [Consultado: 07-feb-2025].
- [4] H. D. Cañola, A. Builes-Jaramillo, C. A. Medina, y G. E. González Castañeda, Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *Tecnológicas*, vol. 21, no. 43, pp. 135-145, 2018.
- [5] R. S. Roux Gutiérrez, «Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos», *Contexto. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, vol. 9, n.º 11, pp. 59–71, sep. 2017.
- [6] Portal de Patrimonio de la Dirección de Patrimonio Cultural, “Bienes declarados patrimonio o de interés cultural”, www.patrimonio.go.cr. [En línea]. Disponible en: <https://www.patrimonio.go.cr/busqueda/ResultadoBusquedaInmuebles.aspx>. [Consultado: 28-abr-2025].
- [7] Portal de Patrimonio de la Dirección de Patrimonio Cultural, “Monumentos declarados Patrimonio en el cantón de Liberia”, muniliberia.maps.arcgis.com. [En línea]. Disponible en: <https://muniliberia.maps.arcgis.com/apps/Shortlist/index.html?appid=39a28b6c26e74584bf102f7eb9d0d970>. [Consultado: 28-abr-2025].
- [8] R. Cruz, “Restauran edificio histórico de Liberia con técnicas tradicionales”, vozdeguanacaste.com, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://vozdeguanacaste.com/12-carretas-de-barro-y-un-boyero-liberiano-asi-restauran-la-gobernacion-de-liberia/>. [Consultado: 20-jul-2025].
- [9] amàco, “Field tests for earth construction”, amàco - YouTube English channel, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/channel/UCITEvyA6TZIc3Cib7G-gVsA>. [Consultado: 05-may-2025].
- [10] K. O. Coto, “CIA actualiza Mapa Digital de Suelos de Costa Rica”, www.ucr.ac.cr. [En línea]. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2016/08/04/cia-actualiza-mapa-digital-de-suelos-de-costa-rica.html>. [Consultado: 07-feb-2025].
- [11] M. Elizondo, “Suelos de Costa Rica orden entisol”, Mag.go.cr, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1822.PDF>. [Consultado: 10-feb-2025].
- [12] Real Academia Española, “Diccionario de la Real Academia Española”, Rae.es, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/humus>. [Consultado: 01-2025].
- [13] K. Arteaga, Ó. Medina, y Ó. Gutiérrez, “Bloque de tierra comprimida como material constructivo”, *Revista Facultad de Ingeniería UPTC*, vol. 20, núm. 31, pp. 55–68, nov. 2011.
- [14] C. A. Guillén Guillén, A. Muciño Vélez, L. F. Guerrero Baca, y F. J. Cruz Farrera, “Optimización del proceso de elaboración de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) mediante el control granulométrico de las partículas del Suelo”, *Nova Sci.*, vol. 13, núm. 27, 2021.
- [15] F. Castillo, “La sabiduría del empirismo: lo social del hábitat y la tierra”. 2021.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.

Nivel de madurez de gemelos digitales aplicados a inmuebles con valor cultural: el foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica

Maturity level of digital twins applied to buildings with cultural value: the foyer and smoking rooms of the National Theater of Costa Rica


Jose Pablo Bulgarelli-Bolaños¹, Ileana Hernández-Salazar², Manuel Castellano-Román³

Bulgarelli-Bolaños, J.P; Hernández-Salazar, I; Castellano-Román, M. Nivel de madurez de gemelos digitales aplicados a inmuebles con valor cultural: el foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 84-95.


 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8292>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 jpbulgarelli@itcr.ac.cr


 <https://orcid.org/0000-0001-5476-6544>

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 ihernandez@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-2355-0270>

3 Universidad de Sevilla. España.

 manuelcr@us.es

 <https://orcid.org/0000-0003-4787-447X>



Palabras clave

Conservación programada; patrimonio arquitectónico; herramientas de gestión; custodio.

Resumen

En la presente comunicación se describen los resultados del proceso en el cual se definió el grado de madurez de un Gemelo Digital (GD) para bienes inmuebles con valor cultural. Uno de los productos del proyecto de investigación “Gemelo digital como herramienta de gestión del plan de conservación programada. Caso de estudio: foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica” fue la definición de los requisitos y alcance para el futuro desarrollo del GD. Se llegó a la determinación de que este nivel podrá ser comunicativo con funcionalidades interactivas. La metodología incluye un análisis documental de la producción científica publicada desde el 2019 y hasta el 2024 sobre el tema, en revistas indexadas en *Web of Science* y *Scopus*, en el marco de la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción; resultados que fueron contrastados con las expectativas del custodio del caso de estudio y los principales riesgos identificados. Con base en esto y en función de la tecnología accesible al momento de la investigación, se especificó el nivel de madurez que el equipo de investigación definió como el nivel posible de alcanzar en el proceso de desarrollo de la herramienta.

Keywords

Programmed conservation; architectural heritage; management tools; custodian.

Abstract

This paper describes the results of the process with which it was possible to define the degree of maturity of a Digital Twin (DT) for real estate with cultural value, determining that this level can be communicative with interactive functionalities; this within the framework of a research project, whose case study is the foyer and smokers of the National Theater of Costa Rica, where one of its results was the definition of the requirements and scope for the future development of the DT. The methodology includes a documentary analysis of the scientific production published from 2019 and until 2024 on the subject, in journals indexed in Web of Science and Scopus, within the framework of the Architecture, Engineering and Construction industry; results that were contrasted with the expectations of the custodian of the case study. Based on this and according to the technology available at the time of the research, the maturity level that the research team defined as the possible level to reach in the tool development process was specified.

Introducción

La presente comunicación se encuentra vinculada con la investigación “Gemelo digital como herramienta de gestión del plan de conservación programada. Caso de estudio: foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica”. El objetivo principal del proyecto fue desarrollar las primeras etapas del Plan de Conservación Programada (PCP) aplicando la propuesta de protocolo en el caso de estudio: foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica, cuya información fuese la base para la futura creación de un Gemelo Digital como herramienta de gestión del bien patrimonial. El proyecto definió los requerimientos técnicos y de visualización para el desarrollo de un Gemelo Digital del foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica (TNCR). El equipo de investigación estuvo integrado por el Tecnológico de Costa Rica (TEC) y el TNCR.

En este artículo se describen los resultados del proceso para definir el nivel de madurez propuesto para Gemelos Digitales (GD) aplicables en el monitoreo de bienes inmuebles patrimoniales, a partir de la revisión de la producción científica sobre el tema entre los años 2019 y 2024, las expectativas de los custodios⁴ del caso de estudio y la capacidad tecnológica al momento de la definición de los requerimientos técnicos para el futuro desarrollo de la herramienta. En esta línea, el equipo de investigación definió que el grado de madurez de los GD para el monitoreo de bienes inmuebles con valor cultural debería ser tipo comunicativo con funcionalidades interactivas.

Para comprender las razones que motivan esta decisión, es necesario definir qué se entiende por Conservación Programada (CP) y por Gemelo o Gemelos Digitales (GD) y el papel de esta herramienta tecnológica en los procesos de CP. El principal autor que teoriza sobre la CP es el arquitecto e ingeniero Stefano Della Torre [1], a partir de su trabajo, en el documento [2] se interpreta a la CP como un proceso continuo y sostenido a través del cual se planifican y ejecutan las acciones requeridas para garantizar un estado específico de conservación del objeto arquitectónico o sitio histórico, con el propósito de preservar los valores que justifican sus niveles de protección.

Los procesos de CP consideran el contexto físico y la evolución del edificio en el tiempo, evalúan su estado actual identificando vulnerabilidades y planifican su preservación con una perspectiva orientada al largo plazo [3], siendo esta la principal diferencia con la conservación preventiva, que se basa en el paradigma del mantenimiento, sin considerar los ciclos de monitoreo ligados a las fragilidades identificadas en el bien. En este sentido, el avance tecnológico desempeña un papel fundamental es los procesos de CP, ya que facilita el monitoreo del inmueble, así como la supervisión de las acciones establecidas en un Plan de Conservación Programada (PCP) [2].

Dicho Plan incluye, además del modelado digital mediante metodología HBIM, el diagnóstico, diseño y ejecución de las intervenciones, la implementación de un sistema centralizado de información [2] que recopila, organiza y presenta los datos relacionados a variables de monitoreo vinculadas a los riesgos del edificio, permitiendo no solo el seguimiento del PCP, sino también la toma de decisiones basadas en el control de los factores que afectan la conservación del bien inmueble.

Por otra parte, en cuanto a los GD aplicados en el ámbito del patrimonio cultural, Lucchi [4] los define como herramientas que simulan el comportamiento de los objetos en entornos virtuales, generando un modelo multifísico de actualización constante gracias a los datos monitorizados automáticamente [4]. En esta línea el equipo de investigación del proyecto define al GD en patrimonio, como una plataforma de información centralizada que combina, en un modelo HBIM, la geometría del edificio con los datos recolectados a través de sensores instalados en el bien [5]. El objetivo de este GD es permitir la interpretación de la información de las variables de monitoreo mediante la comparación de indicadores con rangos de tolerancia en un tiempo determinado, facilitando la toma de decisiones para controlar las condiciones que afectan la conservación del bien inmueble [5].

Las funciones del GD dependen del nivel de madurez de la herramienta; la categorización del grado de desarrollo está vinculada con la cantidad y tipo información que puede almacenar, cómo esta se visualiza, la interacción del usuario con la herramienta y si la información es o no analizada previamente por el sistema. A su vez, todas estas variables se ven limitadas por el tipo de tecnología disponible para el diseño y construcción el GD. Es decir, el desarrollo de un GD en el ámbito del patrimonio cultural no solo considera las necesidades del custodio consignadas en el PCP, si no que depende del balance entre las expectativas del usuario y los recursos tecnológicos disponibles para el diseño y construcción de la herramienta.

4 Entiéndase por "custodio" a la persona física o jurídica responsable de la conservación del bien inmueble patrimonial.

Según la revisión de la literatura científica actual, los GD en la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) se encuentran en los primeros cuatro niveles de seis posibles [6], pero se debe considerar que estos niveles de madurez no son necesariamente lineales, por tanto, un GD puede contar con características propias de orden superior antes que de un orden inferior [7]. Considerando lo anterior, a continuación, se presenta el análisis de la literatura, así como los resultados de la expectativa del custodio del caso de estudio y los riesgos identificados, elementos base para la definición del nivel de madurez y los requisitos técnicos para el futuro desarrollo de un GD.

Materiales y métodos

El equipo de investigación analizó la producción científica publicada desde el 2019 y hasta el 2024, en revistas indexadas en *Web of Science* y *Scopus*, en el marco de la industria de la AIC. Las palabras clave empleadas para la búsqueda fueron: “*Digital Twin, Maturity Level, Architectural Heritage*”, registrando un total de 136 documentos. De este resultado se seleccionaron aquellos aportes que explícitamente categorizaban los niveles de madurez de Gemelos Digitales en la industria AIC o específicamente en el sector del patrimonio arquitectónico, según lo propuesto por [4], [6], [7], [8] y [9].

Los niveles de madurez definidos por estos autores se compararon según las funcionalidades, tecnología vinculada con la herramienta, tipo de información requerida y nivel de conocimiento del modelo HBIM [10] ligado al GD. A partir de esta comparación se propuso una categorización de los niveles de madurez para GD aplicados en la conservación programada de bienes inmuebles patrimoniales.

Por otra parte, se realizó un análisis de los riesgos presentes en el foyer y fumadores del TNCR. Este trabajo se planteó en dos etapas, la primera fue desarrollada como una labor conjunta entre el equipo TEC y el TNCR. Mediante dos talleres participativos con el Departamento de Conservación del TNCR, se llevó a cabo un proceso para definir los principales valores asociados al objeto de estudio, la necesidad de conservarlos, identificar los lineamientos de intervención existentes y establecer el índice de vulnerabilidad del inmueble tomando como base la experiencia del personal de dicho departamento.

En el primer taller, realizado el 22 de febrero del 2023, se identificaron y discutieron los valores que las personas participantes consideraban que tiene el TNCR, basándose en lo estipulado por la Guía para la Carta de Burra: Valor Cultural, de 1997. Posteriormente, se revisaron y discutieron los lineamientos de intervención presentes en los documentos de los proyectos activos del Teatro y por último se evaluó, mediante un formulario digital, la posible vulnerabilidad del inmueble a partir de cuatro dimensiones (sistemas, entorno, uso y presión urbana). En el segundo taller, del 3 de mayo de 2023, se revisaron y ajustaron los resultados obtenidos en la primera actividad participativa y mediante preguntas abiertas se profundizó en conocer la expectativa del custodio con respecto al GD, específicamente sobre las funciones de la herramienta de acuerdo con las necesidades de conservación, la trazabilidad de las intervenciones, los niveles de responsabilidad asociados a las labores de los miembros del departamento y los recursos existentes.

La segunda etapa del análisis de riesgos contempló una serie de visitas al sitio para identificar lesiones y asociarlas al elemento arquitectónico u ornamental en el que se encontraban; esta información se registró en los planos y bases de datos del proyecto. A cada lesión se le aplicaron una serie de criterios de análisis con el objetivo de determinar las prioridades a atender de acuerdo con los valores definidos y establecer las variables de monitoreo que podrían considerarse en el diseño y desarrollo de un GD. Los criterios analizados fueron: origen de la lesión o posibles causas, frecuencia con la que se podían presentar las condiciones de origen, riesgo o consecuencia -a corto, medio y largo plazo- de mantenerse las condiciones de origen, impacto de dicho riesgo sobre los valores del objeto de estudio, medios o alternativas

para registrar las condiciones de origen, equipo tecnológico disponible y deseable para monitorear las variables asociadas al origen de las lesiones, el formato en el que cada equipo registra la información y la frecuencia óptima para efectuar la captura de datos de medición.

Al finalizar ambas etapas, la información obtenida se socializó en sesiones de trabajo conjunto entre el equipo TEC y las personas encargadas del Departamento de Conservación del TNCR. De esta manera se logró realizar la priorización de las variables que inciden sobre los principales riesgos identificados en el área de estudio, en función de su afectación sobre los valores a conservar. A partir de lo anterior, junto con la expectativa del custodio para el uso de la herramienta y el equipo tecnológico disponible para la toma de datos, se logró la determinación de las posibles funcionalidades del GD y se estableció el nivel de madurez esperado.

Resultados

A partir de la investigación documental se seleccionaron cuatro textos en los cuales se describe explícitamente una categorización de los niveles de madurez de los GD en la industria AIC o en el sector del patrimonio construido; a continuación, se narra el trabajo de [8], [6], [9] y [4].

Chen et al. [8] proponen un modelo cualitativo para medir, evaluar y comparar el nivel de madurez en la implementación de GD en el sector AIC, considerando seis etapas o niveles de desarrollo. El modelo se basó en la guía “Activos inteligentes para las infraestructuras del mañana”, del Instituto de Ingeniería Civil de Reino Unido, y está estructurado en un sistema de coordenadas triaxial, basado en las tres dimensiones en que se debería considerar la madurez de los GD: propósito, confianza y funciones [8], además incorpora un formulario de evaluación para identificar la etapa o nivel de desarrollo.

Botín-Sanabria et al. [6] realizan una revisión bibliográfica exhaustiva sobre la tecnología de GD, abordando sus retos, limitaciones y principales aplicaciones. Como parte de los hallazgos, identificaron los tipos de GD, sus niveles de integración, el espectro de madurez y los avances en diferentes dominios. Para los niveles de madurez, adoptaron la clasificación propuesta por Evans et al. [7], detallando los niveles, principios y posibles usos.

Por otro lado, Wei et al. [9] desarrollaron un modelo de GD específicamente para la construcción fuera del emplazamiento (*Off-site*) con paneles, junto con una herramienta de evaluación denominada *Off-site Construction Digital Twin Maturity Level* (OCDTML). Sus objetivos incluyen identificar las diferencias entre los GD de la industria manufacturera y de la construcción *Off-site*, diseñar un modelo de GD para este tipo de construcción, desarrollar un marco de evaluación basado en el modelo y validarlos -marco y modelo- mediante entrevistas y pruebas empíricas.

Por otra parte, Lucchi [4] realiza un análisis de publicaciones científicas centrándose en las aplicaciones de Gemelos Digitales en el sector del patrimonio, a partir de este análisis la autora identifica las aplicaciones típicas de los GD en el patrimonio cultural construido, los retos del desarrollo de estas herramientas, los niveles de madurez según sus características y las líneas de investigación futuras en torno al tema. Según el análisis realiza una categorización de los niveles de madurez para GD aplicados en la conservación programada de bienes inmuebles patrimoniales basada en las funcionalidades esperadas, las tecnologías integradas en la herramienta, los usos HBIM y el nivel de conocimiento [11] del modelo HBIM, como base para la integración de información en la herramienta.

A partir de la revisión y análisis de lo propuesto en los artículos mencionados, es posible sintetizar lo sugerido por los autores en una categorización de los niveles de madurez de los Gemelos Digitales para el patrimonio cultural construido. Los niveles establecidos han sido seis: el Nivel 0-Predigital, el Nivel 1-Identificable, el Nivel 2-Consciente, el Nivel 3-Comunicativo, el Nivel 4-Interactivo y el Nivel 5-Instructivo e Inteligente. Se han identificado para cada nivel

las funciones del GD, el tipo de información requerida, la tecnología vinculada y el nivel de conocimiento del modelo HBIM. A continuación, se presenta del cuadro 1 hasta el cuadro 6 dicha categorización.

Cuadro 1. Nivel 0 Predigital (sin conocimiento).

Descripción	Funciones	Tipo de información requerida	Tecnologías ligadas	Nivel de conocimiento HBIM
No existe un GD tal cual, se entiende como un registro del activo, sin integración de <i>Internet of things</i> (IoT) ni bases de datos estructuradas.	Captura de datos básicos, base para la creación de modelos CAD estáticos sin integración de datos en tiempo real, documentación geométrica y levantamiento “as-built”, mitigación de riesgos técnicos mediante modelos predigitales.	Datos geométricos básicos del activo obtenidos de forma manual o por medio de instrumentos digitales, estos datos no requieren estar estructurados o pueden estar parcialmente organizados.	Dibujos o esquemas manuales, nube de puntos, drones, fotogrametría, CAD 2D, bases de datos no integradas.	LOK100, este modelo permite la identificación del bien patrimonial y su caracterización básica, en nivel de precisión gráfica que alcance no es fundamental.

Fuente: elaboración propia, basado en [4], [6], [7], [8], [9] y [11].

Cuadro 2. Nivel 1 Identificable (Básico).

Descripción	Funciones	Tipo de información requerida	Tecnologías ligadas	Nivel de conocimiento del modelo HBIM
Los activos son parcialmente identificables y registrados. Se comienza a vincular datos descriptivos con la identidad del activo, pero sin metadatos avanzados ni integración de IoT.	Vinculación de datos descriptivos con la identidad del activo, creación de modelos tridimensionales básicos, comprensión y coordinación del activo, reconstrucción de modelos virtuales mediante técnicas de escáner 3D y drones.	Datos vinculados a la identidad del activo, modelos tridimensionales sin metadatos avanzados, información de escáner láser y fotogrametría para reconstrucción virtual, datos iniciales para la comprensión y coordinación del activo. Tecnologías ligadas: modelos tridimensionales básicos, escáner 3D, drones, nube de puntos, software CAD básico.	Modelos tridimensionales HBIM básicos, escáner 3D, drones, nube de puntos, software CAD básico.	LOK 200, este nivel permita la caracterización gráfica y la información necesaria para el desarrollo de acciones vinculadas a la protección legal del inmueble y la planificación de su gestión.

Fuente: elaboración propia, basado en [4], [6], [7], [8], [9] y [11].

Cuadro 3. Nivel 2 Consciente (Intermedio).

Descripción	Funciones	Tipo de información requerida	Tecnologías ligadas	Nivel de conocimiento del modelo HBIM
Los activos son identificables y registrados, además, contempla la monitorización parcial y simulaciones avanzadas.	Integración parcial de dispositivos IoT para supervisar condiciones existentes, uso de modelos digitales con datos persistentes y metadatos básicos, simulación 4D/5D para la planificación y gestión de proyectos de intervención, monitorización de condiciones ambientales y detección de fallos simples.	Datos persistentes (estáticos) y metadatos básicos, información de dispositivos IoT parcialmente integrados, datos para simulaciones 4D/5D (tiempo y costo), información ambiental (temperatura, humedad, entre otros) y rendimiento energético.	Modelo HBIM, IoT básico, sensores, bases de datos vinculadas a modelos, espacio común de trabajo y modelos vinculados.	LOK300, profundiza la caracterización de las entidades gráficas, pudiendo mostrar resultados de investigaciones especializadas, para el seguimiento y diagnóstico.

Fuente: elaboración propia, basado en [4], [6], [7], [8], [9] y [11].

Cuadro 4. Nivel 3 Comunicativo (Avanzado).

Descripción	Funciones	Tipo de información requerida	Tecnologías ligadas	Nivel de conocimiento del modelo HBIM
Existe la interoperabilidad entre sistemas y una gestión predictiva, y tecnología se implanta de forma razonable, con enriquecimiento de datos.	Definición de ontologías para compartir datos en formatos normalizados, enriquecimiento de modelos con datos en tiempo real mediante IoT y sensores, gestión de mantenimiento predictivo y eficacia operativa, construcción de modelos HBIM con metadatos y datos paramétricos.	Datos en tiempo real provenientes de sensores IoT, ontologías definidas para normalizar el intercambio de información, metadatos avanzados y datos paramétricos para modelos HBIM, información para la gestión de mantenimiento predictivo y eficacia operativa.	IoT avanzado, sensores en tiempo real, protocolos de interoperabilidad, modelos HBIM con metadatos.	LOK400, modelo avanzado al que se le vinculan acciones específicas de conservación e intervención sobre los elementos del bien patrimonial.

Fuente: elaboración propia, basado en [4], [6], [7], [8], [9] y [11].

Cuadro 5. Nivel 4 Interactivo (Inteligente).

Descripción	Funciones	Tipo de información requerida	Tecnologías ligadas	Nivel de conocimiento del modelo HBIM
GD con interacción bidireccional y control remoto. Se aplican metodologías avanzadas para la recuperación de información y la integración de activos.	Integración e interacción bidireccional de datos entre lo físico y lo virtual, operaciones remotas e inmersivas, permitiendo controlar lo físico desde lo digital, monitorización continua y adaptación en tiempo real mediante sensores IoT, optimización de procesos constructivos y gestión autónoma de infraestructuras.	Datos bidireccionales entre lo físico y lo virtual, información en tiempo real para operaciones remotas e inmersivas, datos de monitorización continua y adaptación en tiempo real, información para la optimización de procesos constructivos y gestión autónoma.	LoT avanzado, sistemas ciberfísicos, integración con plataformas Cloud, plataformas integradas BIM-IoT, visualización inmersiva (VR/AR).	LOK500, esto modelos permite una gestión del inmueble, registrando las diferentes acciones previstas.

Fuente: elaboración propia, basado en [4], [6], [7], [8], [9] y [11].

Cuadro 6. Nivel 5 Instructivo e Inteligente (Autónomo).

Descripción	Funciones	Tipo de información requerida	Tecnologías ligadas	Nivel de conocimiento del modelo HBIM
GD semiautónoma o autónoma completa y mejora continua, con apoyo inteligente a la toma de decisiones y acciones instigadoras.	Gestión semiautomática o automática de activos, con apoyo inteligente a la toma de decisiones, operación y mantenimiento autónomos con supervisión y transparencia, aprendizaje continuo y mejora adaptativa mediante técnicas de IA avanzada, innovación disruptiva en diseño, construcción y gestión de infraestructuras.	Datos autónomos y continuos para la gestión semiautomática o automática de activos, información para el aprendizaje continuo y la mejora adaptativa mediante IA, datos para la operación y mantenimiento autónomos con total supervisión y transparencia, información disruptiva para la innovación en diseño, construcción y gestión.	IA avanzada, aprendizaje por refuerzo, analítica avanzada, sistemas autónomos.	LOK500

Fuente: elaboración propia, basado en [4], [6], [7], [8], [9] y [11].

Definida esta clasificación de niveles de madurez, se contrastó con los requerimientos del custodio y las variables de monitoreo, para definir el nivel de madurez necesario del GD del caso de estudio. Por otro lado, a partir del proceso participativo entre el personal del Departamento de Conservación del TNCR y el equipo TEC se logró determinar los principales valores del objeto de estudio que deben considerarse en la propuesta de un GD.

Como resultado se identificaron los valores estético, histórico, cultural, científico y social como los más importantes, se destacó la singularidad del Teatro en el ámbito nacional, su representatividad como elemento de la identidad costarricense, su presencia como reflejo de un momento histórico y su papel como un espacio vivo que genera actividad cultural. Además, se resaltó su trascendencia como “escuela de oficios”, ya que es uno de los pocos inmuebles históricos donde las personas funcionarias aprenden sobre técnicas tradicionales de conservación y de la dinámica teatral.

Con respecto a los lineamientos para la conservación se logró determinar la necesidad de establecer aspectos generales para el control de las intervenciones que se realizan en el inmueble, definir restricciones para no alterar los valores del edificio, hacer énfasis sobre la compatibilidad de los materiales a utilizar y la necesidad de lograr la trazabilidad de las acciones de intervención. Por otra parte, se requiere profundizar en los lineamientos para la adaptación de las instalaciones y servicios al cumplimiento de las normativas de accesibilidad, protección contra incendios y la adaptación a nuevas tecnologías. Además, se evidenció que existen protocolos para el tratamiento de ornamentos, sin embargo, los arquitectónicos y estructurales requieren mayor atención, dado que se trata de aspectos generales que no detallan en la dinámica de conservación del patrimonio desde una visión integral, enfocada en preservar los valores del Teatro. Se enfatizó en la necesidad de que las intervenciones se mantengan bajo criterios de reversibilidad, durabilidad y compatibilidad, además de que tanto la operación del edificio, los usos, la capacidad de carga, así como las intervenciones futuras se rijan por protocolos estrictos para evitar daños en los elementos arquitectónicos y ornamentales.

Una vez realizado el análisis de las lesiones existentes se logró determinar cuáles tienen un potencial más alto para generar deterioro en los elementos arquitectónicos y ornamentales y por tanto afectar directamente en la conservación de los valores del objeto de estudio. Al identificar las lesiones más críticas fue posible establecer su relación con variables medioambientales y de uso, tales como humedad relativa y humedad del material, contaminación atmosférica, agentes biológicos, temperatura e incidencia solar, vibraciones o manipulación indebida, entre otros. Además, se logró priorizar aquellas variables que deben monitorearse ya sea mediante inspección visual o instrumental, de acuerdo con la disponibilidad de los equipos y la capacidad operativa del TNCR.

Para el monitoreo visual se registraron lesiones cuyos cambios físicos fueran medibles y cuantificables por medio del uso de instrumentos, en este rubro se identificaron daños relacionados con la aparición de manchas, eflorescencias, fisuras, grietas, deshidratación y desintegración de material. Si bien estas lesiones tienen un potencial de impacto considerable sobre los valores estéticos del inmueble, se descartó vincular el monitoreo visual a una primera versión del GD, ya que supone retos operativos superiores al alcance del proyecto y, por tanto, deberá analizarse a futuro la manera de lograr su integración a la herramienta.

En cuanto al monitoreo instrumental las variables como temperatura ambiental, humedad relativa, iluminación incidente y presencia de partículas en el ambiente guardan relación directa con la mayor parte de las lesiones identificadas en el área de estudio, tales como fisuras, deshidratación, corrosión y alteraciones cromáticas, además se cuenta con equipos para registrar datos y vincularlos a un futuro GD. Por otra parte, variables como humedad en

el material, vibración y desplazamiento deberán analizarse para su incorporación en futuras versiones del GD, ya que a la fecha no se cuenta con equipos ni recurso humano suficiente para realizar el registro de estos datos.

Evitando alterar el valor estético del Teatro, así como por las características de los materiales de acabado, es fundamental el uso de técnicas no invasivas para la recolección de información, por tanto, las variables definidas se asociaron a espacios generales y no a elementos arquitectónicos u ornamentales de manera puntual. Es necesario que los sensores IoT se instalen en áreas designadas del foyer -norte, central y sur de acuerdo con la clasificación previa realizada por el equipo de investigación- y en los Fumadores norte y sur.

Consideradas las funciones y el tipo de información requeridas por el custodio y los recursos tecnológicos disponibles o en disposición de proveerse, puede inferirse que el nivel de madurez requerido para el GD del TNCR es el Nivel 3-Comunicativo, que necesitaría ser complementado con algunas funcionalidades interactivas del nivel 4.

Conclusiones

Aunque se trata de un solo edificio, cada estancia del TNCR tiene particularidades propias relacionadas con su funcionamiento, capacidad, ornamentación y uso, estas características las hacen más o menos sensibles a factores como ventilación, iluminación, ocupación, mobiliario, entre otros, por tanto, es necesario establecer lineamientos específicos para la conservación de cada espacio, así como una monitorización y gestión individualizada que considere sus particularidades. Dichos lineamientos deben ser accesibles tanto para el custodio del bien como para las personas encargadas de llevar a cabo labores de intervención en los distintos elementos, por tanto, es importante contar con una plataforma que centralice la información y que permita sistematizar las evidencias resultantes de la aplicación de los lineamientos.

Del análisis de las lesiones presentes en el área de estudio, los equipos tecnológicos y el recurso humano disponible se consolida la necesidad de contar con una herramienta que contribuya con la gestión del inmueble, de manera que pueda monitorear las variables que inciden en su estado de conservación, dar trazabilidad a las acciones de intervención y alertar sobre procesos de deterioro. Las variables de monitoreo por considerar en un primer prototipo de GD; según el tipo de lesiones presentes, los equipos existentes y el personal capacitado; son la temperatura ambiente, la humedad relativa, la cantidad de iluminación incidente y la presencia de partículas en el ambiente. El TNCR cuenta con datalogger capaces de registrar información de estas variables, por tanto, el equipo de investigación debe desarrollar un modelo de datos que relacione la geometría de los modelos digitales elaborados por el proyecto, con información recopilada por los sensores instalados, facilitando la visualización de escenarios basados en las mediciones y sus posibles afectaciones.

En función de lo mencionado anteriormente, el equipo de investigación ha desarrollado los requisitos técnicos para el futuro desarrollo de un GD del foyer y fumadores del TNCR. Considerando que el nivel de madurez del GD proyectado es de tipo comunicativo y funcionalidades interactivas, este permitirá la integración de modelos tridimensionales con conjuntos de datos recopilados mediante sensores IoT, en tiempo real o en momentos específicos. Además, este nivel de madurez del GD permite el monitoreo de las condiciones del objeto físico, a partir de los cambios en los indicadores y los valores de referencia definidos por períodos para cada material.

Partiendo de este modelo como base, se espera que la plataforma incorpore funcionalidades avanzadas de comunicación y gestión de datos. Para ello, se debe implementar una ontología, es decir, un modelo estructurado de datos que define un conjunto de conceptos y sus relaciones,

con el fin de garantizar la interoperabilidad de la información en formatos estandarizados. Además, se deberá integrar información en tiempo real o en periodos específicos mediante el uso de tecnologías IoT y sensores, lo que permitiría enriquecer y actualizar continuamente los modelos HBIM.

Asimismo, se prevé que la herramienta cuente con funcionalidades interactivas que faciliten la integración e interacción entre el entorno físico y el virtual. Esto incluye la capacidad de visualizar alertas cuando las variables monitoreadas muestren valores que puedan propiciar la aparición de lesiones en el objeto de estudio. Una vez detectada la presencia de una o varias lesiones, la plataforma podrá proponer acciones de conservación, previamente configuradas. Finalmente, se espera que la herramienta permita gestionar los procesos de conservación mediante la generación de incidencias u órdenes de trabajo, facilitando el registro de las acciones realizadas. Estas acciones podrán seguir las recomendaciones de los GD previamente establecidas o incorporar nuevos procedimientos según sea necesario.

Si bien el nivel de madurez de los Gemelos Digitales (GD) no necesariamente sigue una progresión lineal, se espera que la herramienta desarrollada sea lo suficientemente robusta para funcionar, en una primera etapa, como un repositorio centralizado de información HBIM (gráfica, no gráfica y vinculada) del caso de estudio. Es importante destacar que el proyecto de investigación cuenta con un modelo HBIM LOK300, elaborado a partir del proceso de documentación y análisis del edificio. Este modelo integra información estructural y arquitectónica del área de estudio, desarrollado mediante el modelado arquitectónico previo LOK200, la revisión de planos, bitácoras e informes de los procesos de construcción y restauración correspondientes a las décadas de 1890, 1940 y 1990, así como el reconocimiento de elementos estructurales mediante técnicas no invasivas, como el uso de cámaras endoscópicas, cámaras térmicas y ensayos de georradar (GPR).

Dentro de los principales retos a los que se enfrenta el equipo están los referentes para el desarrollo de la herramienta. A pesar de que la temática de los GD no es nueva, su aplicación en el ámbito del patrimonio cultural se encuentra en constante evolución, por tanto, las funcionalidades, la integración de los datos a recopilar, la interoperabilidad de diferentes tecnologías y la interacción del usuario con la herramienta constituyen una oportunidad para la exploración y la búsqueda constante de alternativas. Además, al tratarse de un inmueble representativo, en uso constante y con declaratoria de protección, los instrumentos y técnicas a aplicar deben ser respetuosos de los valores del edificio sin alterar su funcionamiento, esto limita las posibilidades en cuanto a la instalación de equipos y el establecimiento de acciones de conservación.

Agradecimientos

El equipo de investigación agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el apoyo para la realización del proyecto “Gemelo digital como herramienta de gestión del plan de conservación programada. Caso de estudio: foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica”. Asimismo, se extiende el agradecimiento a las escuelas de Arquitectura y Urbanismo, Ingeniería en Diseño Industrial, Ingeniería en Computación e Ingeniería en Construcción, así como al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla por el trabajo conjunto desarrollado durante los años de investigación. También se agradece al Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción, así como al Centro de Investigación y Extensión en Materiales, por el apoyo técnico. Finalmente, agradecemos al Teatro Nacional de Costa Rica y a las personas funcionarias del Departamento de Conservación, por ser parte del equipo que está haciendo posible el planteamiento y desarrollo de este proyecto.

Referencias

- [1] S. Della Torre, «La conservazione programmata: una strategia per il patrimonio storico-architettonico,» de *a conservazione programmata del patrimonio storico architettonico Linee guida per il piano di manutenzione e il consuntivo*, Milán, Edizioni Angelo Guerini e Associati SpA, 2003, pp. 15-20.
- [2] J. Bulgarelli-Bolaños, R. Malavassi-Aguilar, I. Hernández-Salazar, E. Salazar-Ceciliano y M. Valverde-Solano, «Herramientas de gestión y conservación programada en intervenciones de bienes inmuebles patrimoniales de Costa Rica,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, 2021.
- [3] E. Salazar-Ceciliano y R. E. Malavassi-Aguilar, «La conservación programada y su aplicación en la arquitectura: un análisis bibliométrico,» *Tecnología en Marcha*, pp. 79-88, Diciembre 2020.
- [4] E. Lucchi, «Digital twins for the automation of the heritage construction sector,» *Automation in Construction*, vol. 156, pp. 1-19, 2023.
- [5] J. Bulgarelli-Bolaños, I. Hernández-Salazar, R. Malavassi-Aguilar, E. Salazar-Ceciliano, M. Valverde-Solano y E. Solano-Fernández, «Gemelo digital en edificios patrimoniales y la evolución de este concepto en la producción científica,» *Tecnología en Marcha*, vol. 36, pp. 55-66, noviembre 2023.
- [6] D. Botín-Sanabria, A.-S. Mihaita, R. E. Peombert-García, M. A. Ramírez-Moreno, R. A. Ramírez-Mendoza y J. d. J. Lozoya-Santos, «Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review,» *Remote sensing*, vol. 14, n° 1335, pp. 1-25, 2022.
- [7] S. Evans, C. Savian, A. Burns y C. Cooper, *Digital twins for the built environment: an introduction to the opportunities, benefits, challenges and risk*, The Institution of Engineering and Technology, 2019.
- [8] L. Chen, X. Xie, Q. Lu, A. K. Parlikad, M. Pitt y J. Yang, «Gemini Principles-Based Digital Twin Maturity Model for Asset Management,» *Sustainability*, pp. 1-15, 2021.
- [9] Y. Wei, Z. Lei y S. Altaf, «An Off-Site Construction Digital Twin Assessment Framework Using Wood Panelized Construction as a Case Study,» *Buildings*, vol. 12, n° 566, pp. 1-18, 2022.
- [10] M. Castellano-Román y F. Pinto-Puerto, «Dimensions and Levels of Knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain).,» *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 14, n° e00110, pp. 1-11, 2019.
- [11] M. Castellano-Román y F. Pinto-Puerto, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 14, n° e00110, pp. 1-11, 2019.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Para la revisión gramatical y ortográfica de este artículo, empleamos la herramienta de IA ChatGPT. Esta nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista.

La aplicación de la microscopía óptica para la identificación de hongos causantes de biodeterioro en edificaciones con valor patrimonial

The application of optical microscopy for the identification of fungi causing bio-deterioration in heritage buildings

Dawa Méndez-Alvarez¹, Kenia García-Baltodano²,
David Porras-Alfaro³, William Rivera-Méndez⁴

Méndez-Alvarez, D; García-Baltodano, K; Porras-Alfaro, D; Rivera-Méndez, W. La aplicación de la microscopía óptica para la identificación de hongos causantes de biodeterioro en edificaciones con valor patrimonial. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 96-111.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8293>

- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 damendez@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-7586-5485>
- 2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 kgarcia@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-2507-8627>
- 3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 dporras@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-8917-1652>
- 4 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 wirivera@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-2065-6264>



Palabras clave

Estudio patológico; técnicas no invasivas; madera; ascomicetos; Costa Rica.

Resumen

El uso de técnicas no invasivas para el estudio patológico de edificaciones constituye un avance importante para la conservación del patrimonio construido. El trabajo interdisciplinar para realizar este tipo de estudios ha permitido que el aporte de diversas disciplinas científicas, enriquezcan el trabajo que tradicionalmente se ha hecho en conservación por arquitectos o ingenieros. Este artículo pretende evidenciar cómo la microscopía óptica, técnica tradicionalmente ligada a las ciencias biológicas, constituye una poderosa herramienta para el estudio patológico, permitiendo realizar diagnósticos más certeros sobre el estado de conservación de los inmuebles. Para ello, se presentan tres casos de estudio donde la aplicación de la microscopía óptica permitió la identificación de hongos causantes de biodeterioro de edificaciones de valor patrimonial en tres ciudades de Costa Rica con condiciones climáticas diferentes. Como principal resultado destaca el hallazgo de 42 géneros de hongos, la mayoría ascomicetos, cinco de los cuales son reiterativos en los edificios estudiados.

Keywords

Pathological study; noninvasive technique; wood; ascomycetes; Costa Rica.

Abstract

The employment of non-invasive techniques for the pathological study of buildings is an important advance for the conservation of the built heritage. The collaborative effort encompassing multiple scientific disciplines has enhanced the scope of the research, complementing, and expanding upon the contributions traditionally made by architects and engineers. This article aims to demonstrate how optical microscopy, a technique traditionally linked to biological sciences, is a powerful tool for pathological studies, allowing more accurate diagnoses of the state of conservation of buildings. To illustrate this point, three case studies are presented, each highlighting the application of optical microscopy in identifying fungi responsible for biodeterioration in heritage buildings across three cities with distinct climates in Costa Rica. The principal result of this study is the identification of 42 genera of fungi, predominantly ascomycetes, five of which were repeatedly observed in the studied buildings.

Introducción

La madera es un material ampliamente utilizado en la construcción, siendo común en diferentes países y contextos, aunque su uso y configuración a nivel arquitectónico responde a una relación directa con el territorio y la cultura de cada lugar. Si bien se trata de un material que presenta excelentes propiedades que lo hacen óptimo para la construcción, puede ser susceptible a lesiones físicas, mecánicas y químicas [1]. En algunos casos estos daños son provocados por la presencia de agentes de biodeterioro como los hongos, los cuales pueden acelerar los procesos de detrimento generando alteraciones estéticas e incluso problemas estructurales [2].

El estudio de las lesiones y los agentes de biodeterioro, constituye parte de la patología de la construcción [3]. La evolución de la tecnología ha permitido que el empleo de diversas técnicas de carácter no invasivo [4] [5] faciliten tanto la identificación de agentes como el diagnóstico oportuno para brindar soluciones orientadas a la conservación de los materiales.

En el caso de las edificaciones de madera el uso de técnicas no invasivas como la microscopía óptica permite la identificación de agentes de una forma segura, que no genera daños a los materiales [6] pues para su análisis se requieren muestras muy pequeñas, obtenidas in situ a través de raspados o hisopados, que posteriormente son estudiadas a partir de procesos de laboratorio. Esta técnica ha demostrado su eficiencia en especial para la identificación y caracterización tanto de los géneros y especies de hongos, como de los tipos de pudrición que estos generan [7], siendo un factor determinante para la definición de los tratamientos requeridos para su control.

El presente artículo tiene como finalidad exponer el uso de la microscopía óptica como técnica no invasiva para determinar los tipos de agentes biológicos que afectan la madera utilizada en edificaciones; siendo especialmente útil en inmuebles patrimoniales en los cuales el estudio patológico requiere ser preciso y con mínima intervención. Para ello, se exponen los análisis realizados en estudio de tres inmuebles de valor patrimonial ubicados en Costa Rica.

La madera fue un material ampliamente utilizado en el país para la edificación especialmente entre finales del siglo XIX y principios del XX, muy asociado a la importación de edificaciones de estilo victoriano en el Valle Central y a los modelos prefabricados que introdujo en sus enclaves bananeros y mineros la United Fruit Company y las empresas ligadas a esta. La popularización del uso de la madera aserrada [8], así como la adaptación y criollización de la estética y el sistema constructivo de los primeros modelos importados, dio lugar a lenguajes arquitectónicos particulares que responden claramente a su contexto a partir de estrategias bioclimáticas y expresiones estéticas propias. De esta forma, lugares como San José, Limón [9] o Puntarenas [10], actualmente preservan ejemplos representativos de edificaciones de madera de dicha época.

Si bien la construcción en madera se ha reducido de forma drástica en el país [39], aún se conserva una cantidad significativa de este tipo de inmuebles. Algunos de ellos, debido a su antigüedad e importancia histórica han sido protegidos a través de la figura de patrimonio histórico-arquitectónico (Ley N° 7555 de la República de Costa Rica), mientras que otras, a pesar de no estar protegidas, son conservadas como parte de su reconocimiento como inmuebles con valores patrimoniales.

Materiales y métodos

Objeto de estudio

Para esta aportación se seleccionaron tres casos de estudio, analizados previamente como parte de proyectos de investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica [11] [12] [13] realizados por equipos interdisciplinarios de arquitectos, ingenieros forestales y biotecnólogos; en los cuales se estudiaron características arquitectónicas y de biodeterioro en diferentes contextos del país. Si bien dichos proyectos contemplan una amplia diversidad de inmuebles, para este artículo además del aspecto ya mencionado, se establecieron como criterios para la escogencia de los inmuebles a analizar los siguientes: uso de la madera como material constructivo en estructura o cerramientos, importancia patrimonial dentro de su contexto, construcción cercana a los 100 años de antigüedad, estado de conservación y las condiciones climáticas a las que están expuestos según su ubicación.

El primer caso de estudio es la Casa Misionera de la Iglesia Bautista, ubicada en Puerto Limón (9.996475151194977, -83.03126558663071) (figura 1). Esta ciudad se encuentra en la costa Caribe del país, presenta una temperatura media anual de 25,9°C, una precipitación media anual de 287,3 mm y una humedad relativa de 86% [14].

Su construcción, posiblemente entre 1887 y 1888, está ligada a la incorporación de la comunidad afrodescendiente en la ciudad. El inmueble cuenta con dos niveles y presenta características propias de la arquitectura caribeña costarricense como: galerías, amplios aleros, antealeros, calados, monitor, petatillo, techos con grandes pendientes y pilotes (figura 2a).

Esta edificación fue declarada patrimonio histórico arquitectónico en 2002 a través del Decreto Ejecutivo 30232-C, publicado en el periódico oficial La Gaceta N° 65. A pesar de que fue restaurada en 2002, en la actualidad este inmueble se encuentra desocupado y cuenta con daños importantes producto de la falta de mantenimiento y el abandono, por lo que presenta mal estado de conservación y un riesgo importante de desaparición.

El segundo inmueble es la Escuela El Carmen, ubicada en la ciudad de Puntarenas (9.97645407394108, -84.84605363398005) (figura 1). Puntarenas presenta una temperatura media anual de 26,9°C, una precipitación media anual de 113,5 mm y una humedad relativa de 76,7%, además se encuentra en la costa pacífica del país [15].

Este edificio forma parte de la arquitectura vernácula de la ciudad, con características como: zócalo, uso de petatillo en la parte superior, ventilas y pendientes pronunciadas. La edificación cuenta con tres volúmenes de un nivel con una configuración en C con patio central (figura 2b). Aunque el edificio actualmente se encuentra en funcionamiento presenta daños y lesiones importantes, que evidencian un estado regular de conservación. Esta escuela pública a lo largo de los años ha mantenido el uso educativo, primero como escuela de primaria, luego como colegio universitario y en la actualidad, nuevamente utilizada para la enseñanza de niños en edad escolar.

La tercera edificación es conocida como la Casa del Subcomandante, forma parte del Conjunto Edificatorio del Museo Nacional de Costa Rica, ubicada en San José, Valle Central (9.933061278383478, -84.07178388898778) (figura 1). Esta ciudad presenta una temperatura media anual de 21,1°C, una precipitación media anual de 145,8 mm y una humedad relativa de 76,2% [16].

Este edificio fue construido a finales del siglo XIX y, aunque no cuenta con una declaratoria patrimonial específica para el inmueble, es parte de uno de los conjuntos de mayor relevancia cultural y representatividad para el país. La Casa del Subcomandante hoy en día es un espacio destinado a exposiciones temporales, esto después de una importante restauración realizada en el año 2008.

Originalmente este inmueble fue utilizado como vivienda para el segundo comandante del Cuartel Bellavista, el espacio militar más importante de San José construido durante la dictadura de Federico Tinoco [17]. La Casa del Subcomandante es un inmueble de carácter ecléctico con paredes de ladrillo, pisos y cielos de madera, puertas con madera y vidrio y baldosa hidráulica (figura 2c).

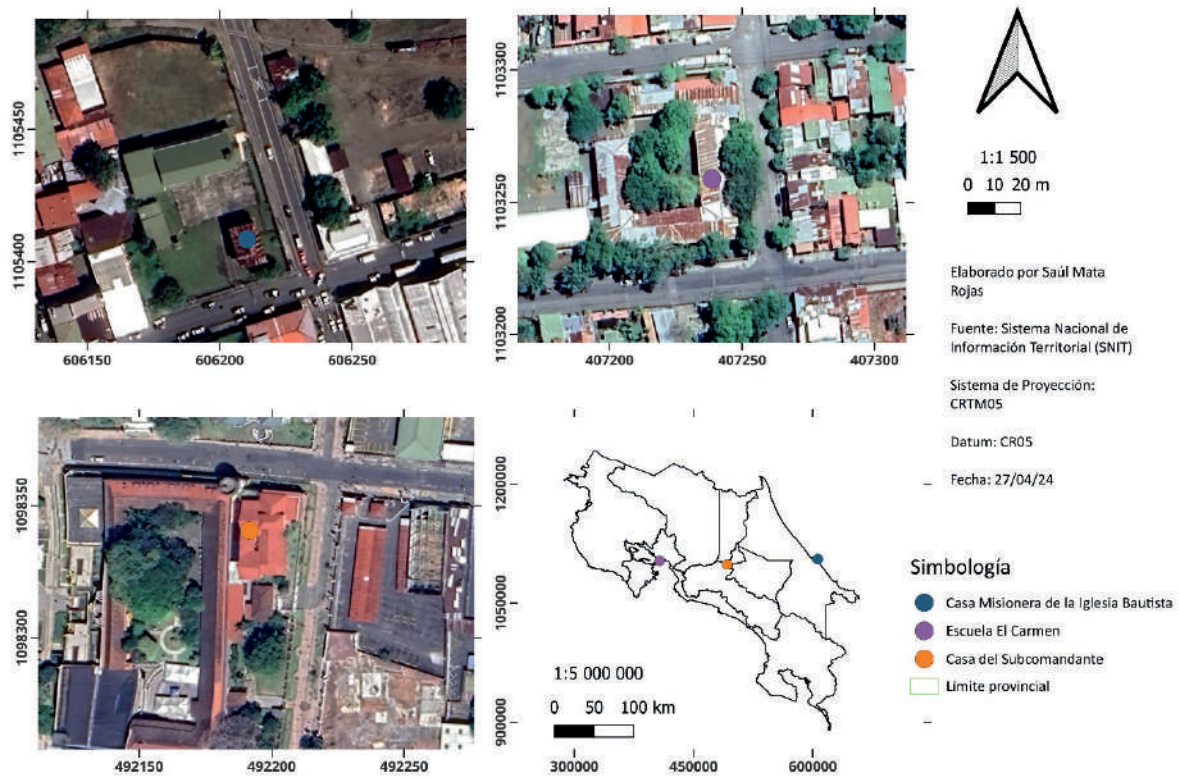


Figura 1. Ubicación de cada sitio seleccionado para el estudio.



Figura 2. Edificaciones utilizadas como casos de estudio.

En cada uno de los inmuebles estudiados se realizó un levantamiento arquitectónico que, posteriormente, permitió desarrollar planos de cada edificación. En el caso de la Escuela El Carmen y la Casa Misionera de la Iglesia Bautista, se contaba con algunos planos elaborados de cierta antigüedad que se conservaban en el Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (actual Dirección de Patrimonio Cultural) del Ministerio de Cultura y Juventud, por lo que se realizó la rectificación de medidas a través de medidores láser, identificándose algunas diferencias significativas entre los planos y las edificaciones, por lo que se optó por dibujarlos nuevamente.

Levantamiento de lesiones y toma de muestras biológicas

En cada uno de los inmuebles seleccionados se realizó un recorrido donde se localizaron los daños o lesiones presentes, estos se documentaron a través de fotografías y se ubicaron en planos arquitectónicos. La información obtenida posteriormente se trasladó a una base de datos de elaboración propia que sistematiza la información obtenida en campo para cada caso.

Los daños se clasificaron según [18] por su origen en: lesiones químicas (resultado de la reacción de los materiales a la acción del medio ambiente y los procesos bioquímicos); lesiones físicas (relacionadas directamente con la acción de fenómenos como lluvia, viento, humedad, cambios de temperatura); y lesiones mecánicas (aquellas que comprometen la estabilidad de los elementos estructurales). En cuanto a las lesiones de tipo orgánicas se tomó una muestra de aproximadamente 1g siguiendo el procedimiento de [19] y se almacenaron a 4°C en el laboratorio de patología forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del TEC hasta su posterior uso (cuadro 1).

Cuadro 1. Número de muestras y fecha de colecta según inmueble.

Inmueble	Número total de muestras	Fecha de colecta	Interior o exterior del inmueble	Elemento constructivo
Casa Misionera de la Iglesia Bautista, Limón	7	Mayo 2019	Exterior e interior	Cielos, pisos, paredes, columnas, gradas
Escuela El Carmen, Puntarenas	14	Diciembre 2023	Exterior	Paredes
Casa del Subcomandante, MNCR, San José	3	Marzo 2021	Interior	Piso y paredes

Aislamiento e identificación morfológica de agentes de deterioro

Las muestras se subdividieron en dos partes iguales, una de ellas se utilizó para realizar el aislamiento en diferentes medios de cultivo como lo mencionan [19], con un periodo de incubación de 8 días a 25°C. En cada aislamiento se observó la placa y se re-aisló los morfotipos de hongos más frecuentes hasta obtener cultivos axénicos por medio de transferencia de hifas. Con estos cultivos se procedió a realizar la identificación morfológica por medio de microscopía óptica. En cada muestra se realizó un montaje, con azul de lactofenol, y se observó las estructuras a un aumento de 40X, donde se tomaron varias fotografías para determinar el género y la especie.

Identificación especies de maderas

En los recorridos dentro y fuera de los inmuebles, Casa Misionera de la Iglesia Bautista y la Escuela El Carmen, con ayuda de un taxónomo experto en anatomía de la madera se realizó un raspado en diferentes piezas de madera para cada cerramiento y se observó la anatomía de cada pieza para lograr la identificación taxonómica [20] [21]. Para la Casa del Subcomandante, dentro del Museo Nacional de Costa Rica, el arquitecto Ronald Quesada Chaves, funcionario a cargo de la conservación del inmueble, brindó la información correspondiente a la especie de madera utilizada en el proceso de restauración.

Resultados

Con el levantamiento arquitectónico de cada inmueble se logró determinar qué partes de la edificación se ven más afectadas y qué tipo de lesión predomina en cada sitio. Como se observa en la figura 3, la Casa Misionera de la Iglesia Bautista presenta los tres tipos de lesión; sin embargo, predominan las lesiones de tipo físicas, tanto en sus fachadas como en el interior por la alta humedad de la ciudad, y las lesiones de tipo mecánicas por falta de mantenimiento.

Según la identificación de madera, dentro de la Casa Misionera de la Iglesia Bautista se encuentra madera de *Dalbergia retusa* (cocobolo) y *Pinus sp.* (pino) como piezas originales del inmueble. Además, se identificaron piezas de *Cedrela odorata* (cedro) y *Cordia alliodora* (laurel) utilizadas para sustitución de elementos originales durante el proceso de intervención [20].

En la Escuela El Carmen, se localizaron lesiones de los tres tipos, sin embargo, predominan las físicas cómo se observa en la figura 4. Además, las lesiones se ubican en la fachada de la escuela, donde el material, en este caso la madera, está en mayor contacto con las condiciones climáticas como la lluvia, el viento y el sol, generando una afectación más evidente en su exterior que en su interior. En cuanto a la identificación de la madera presente, se determinó el uso de *Cedrela odorata* (cedro) y *Pochota fendleri* (pochote) como piezas originales y *Cordia alliodora* (laurel) como piezas de sustitución [21].

En cuanto a la Casa del Subcomandante, solo se observaron lesiones de tipo químicas y físicas (figura 5), donde en algunos puntos dentro del inmueble se identificó que al existir una lesión física por humedad esta contribuía al desarrollo de una lesión de tipo química. Este inmueble tuvo una intervención en 2008 donde se sustituyó la mayoría de las piezas de madera, por lo que al momento del estudio la madera dentro la Casa del Subcomandante se identificó como *Pochota fendleri* (Pochote).

Con la observación de las estructuras morfológicas a nivel macro y microscópico de los aislamientos se logró determinar 14 géneros de hongos en la Casa Misionera de la Iglesia Bautista, 19 géneros en la Escuela El Carmen y nueve géneros en la Casa del Subcomandante dentro del Museo Nacional de Costa Rica, para un total de 42 géneros donde cinco de ellos se comparten en los edificios. Entre los géneros identificados se encuentran *Aspergillus*, *Penicillium* y *Trichoderma*, entre otros (cuadro 2).

La mayoría de ellos sin importar el inmueble se clasifican como ascomicetos, los cuales se encuentran presentes en el ambiente y en algunos casos son capaces de causar daños a lo interno de la madera. Asimismo, se determinó la presencia de agentes de deterioro de la madera como *Coprinellus radians* que causa pudrición blanca y *Sclerotinia spp.* que causa pudrición marrón (cuadro 2).

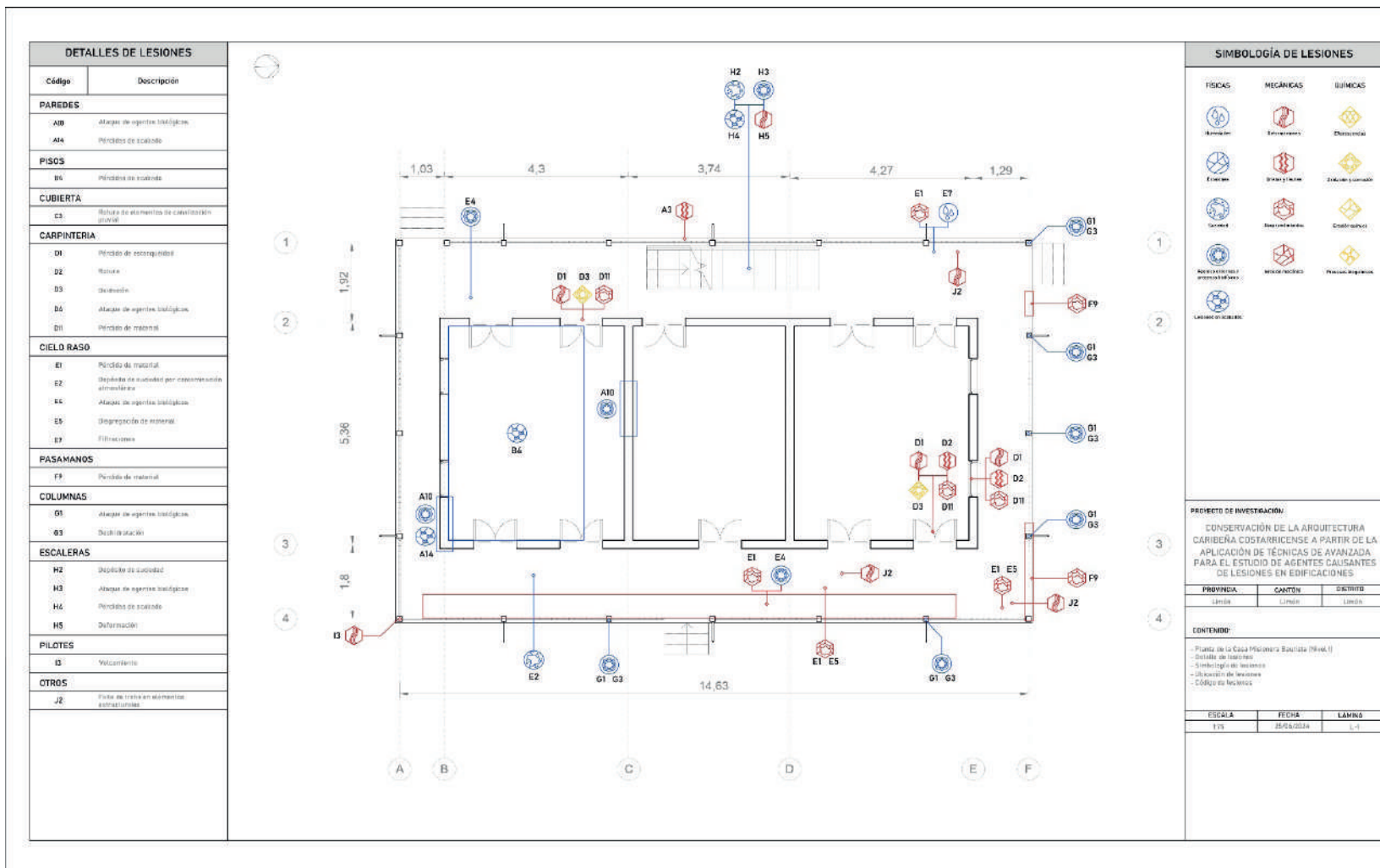


Figura 3. Plano con ubicación de lesiones del primer nivel de la Casa Misionera de la Iglesia Bautista, Limón, Costa Rica.

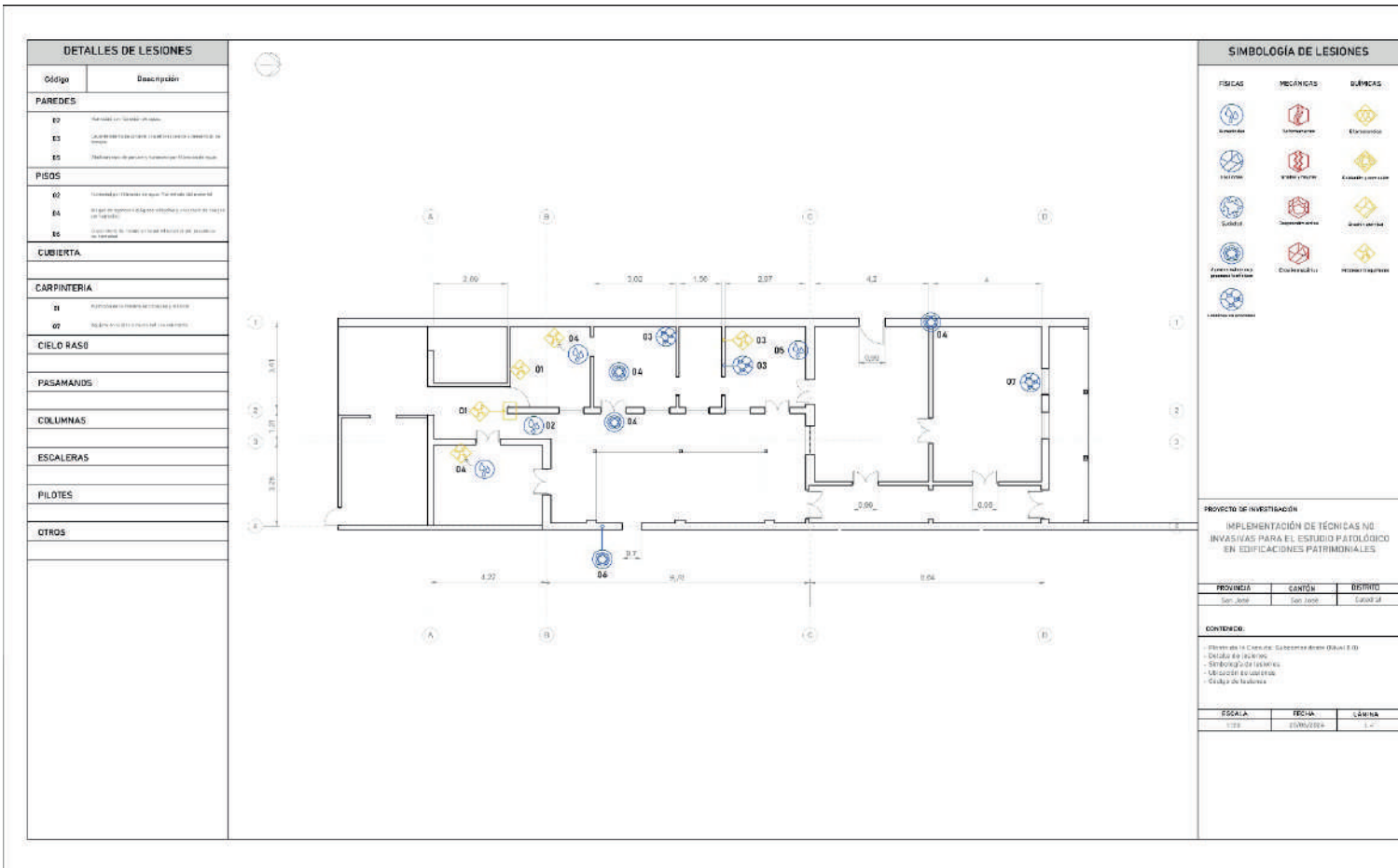


Figura 5. Plano con ubicación de lesiones de la Casa del Subcomandante dentro del Complejo edificatorio del Museo Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Cuadro 2. Géneros y especies de hongos identificados por observación microscópica, aislados a partir de muestras de madera presentes en edificación con valor patrimonial.

Casa Misionera de la Iglesia Bautista, Limón	Escuela El Carmen, Puntarenas	Casa del Subcomandante, MNCR, San José
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>
<i>Coprinellus radians</i>		
		<i>Alternaria</i> spp.
	<i>Aureobasidium</i> spp.	
	<i>Chaetomium</i> spp.	
	<i>Cladosporium</i> spp.	<i>Cladosporium</i> spp.
	<i>Dactylaria</i> spp.	
	<i>Donkioporia</i> spp.	
	<i>Epicoccum</i> spp.	
<i>Fusarium solani</i>		
		<i>Gloeophyllum</i> spp.
<i>Hypoxylon polyporus</i>		
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
	<i>Microsporium</i> spp.	
<i>Mucor</i> spp.	<i>Mucor</i> spp.	<i>Mucor</i> spp.
<i>Mycosphaerella</i> spp.		
	<i>Paecilomyces</i> spp.	
<i>Penicillium citrinum</i>		
<i>Penicillium</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.
<i>Phaeoisaria</i> spp.		
	<i>Phlebiopsis</i> spp.	
	<i>Phytophthora</i> spp.	
<i>Pseudoidriella</i> spp.		
	<i>Pythium</i> spp.	
	<i>Rhizoctonia</i> spp.	
	<i>Rhizopus</i> spp.	
		<i>Sclerotinia</i> spp.
<i>Talaromyces cnidii</i>		
<i>Toxicocladosporium</i> spp.		
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Trichoderma</i> spp.
	<i>Verticillium</i> spp.	

En ciertos aislamientos al promover la esporulación del hongo se logró observar conidias o conidiosporos en los montajes, como se observa en la figura 6. Además, se realizaron comparaciones con la literatura para obtener la especie del hongo, tal es el caso de los hongos: *Lasiodiplodia theobromae*, *Aspergillus niger*, *Penicillium citinum*, *Coprinellus radians*, *Trichoderma* spp. y *Fusarium solani*.

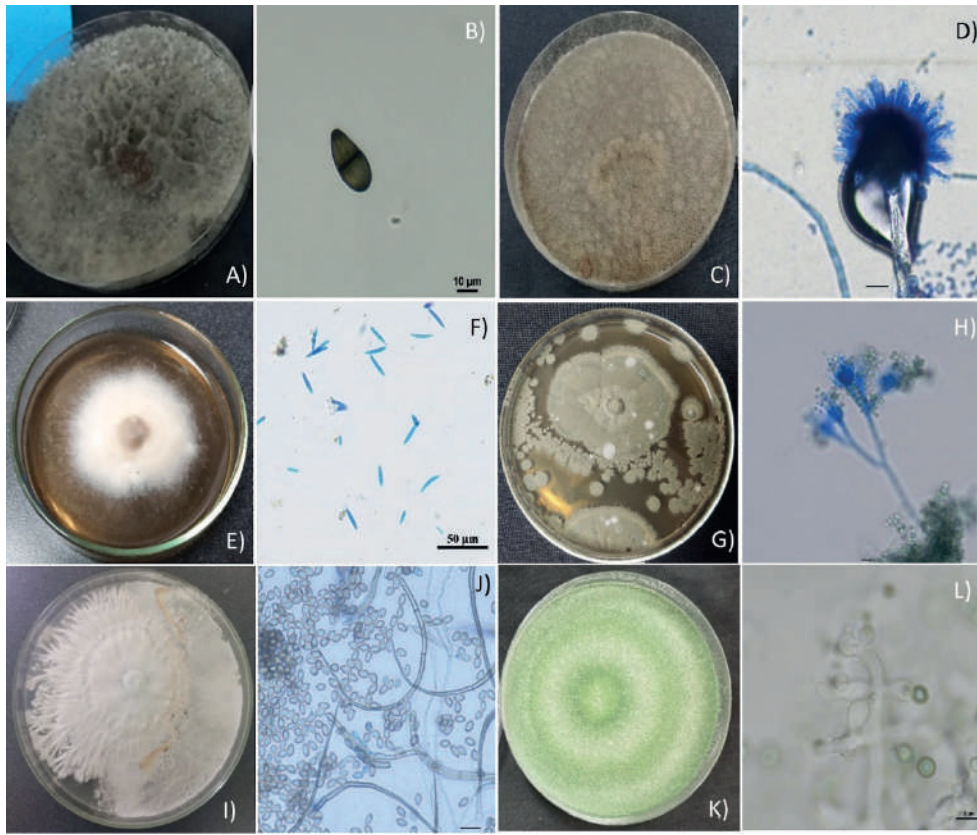


Figura 6. Fotografías de hongos aislados a partir de muestras de madera presentes en edificaciones con valor patrimonial. A-B) *Lasiodiplodia theobromae*. C-D) *Aspergillus niger*. E-F) *Fusarium solani*. G-H) *Penicillium citrinum*. I-J) *Coprinellus radians*. K-L) *Trichoderma* spp.

Conclusiones y recomendaciones

Los tres casos presentados evidencian estados de conservación disímiles, donde es posible detectar lesiones tanto de tipo físico, mecánico y químico; la condición de uso, los factores climáticos y las posibilidades de inversión en mantenimiento para cada edificio constituyen aspectos importantes que influyen en la situación que presenta cada inmueble. Esta aportación se centra en las lesiones de tipo químicas ligadas al biodeterioro, en especial en aquellas provocadas por hongos, para las cuales la microscopía óptica fue un recurso de gran utilidad.

El deterioro de la madera como material constructivo en ambientes tropicales está asociado con la presencia de microorganismos, entre ellos los hongos [22] [23] [24]. La identificación precisa de los agentes causantes del biodeterioro mediante técnicas avanzadas, como la microscopía óptica, permite identificar la especie de hongo involucrada, el tipo de daño que causa (superficial o estructural) y el grado de afectación a la estructura de la madera, además al identificar el agente de deterioro se obtiene información sobre las condiciones que favorecen su crecimiento y propagación.

Hongos como *Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum*, *Trichoderma* spp., y *Lasiodiplodia theobromae*, identificados en los tres inmuebles muestreados, son conocidos por causar diversos tipos de deterioro en la madera [25] [26] [27]. El hongo *L. theobromae* produce manchas y decoloración, sin embargo, [22] ha reportado que también afecta la resistencia mecánica de la madera. En el caso de *A. niger* y *P. citrinum* son hongos que causan pudrición

blanda, donde su daño es superficial con manchas y decoloración, con capacidad de producir daño estructural, además, son hongos activos en condiciones de alta humedad relativa y son capaces de adaptarse a condiciones adversas [26] [28] [29].

Otros hongos identificados en este estudio como *Cladosporium*, *Sclerotinia* y *C. radians* provocan biodeterioro significativo ya que son capaces de degradar lignocelulosa afectando la integridad estructural de la madera [30] [31]. Todos los hongos identificados pueden colonizar diferentes tipos de maderas, particularmente aquellas más susceptibles, como las maderas blandas y menos densas como el pino, cedro, melina o pochote [32] [33] [34] [35] las cuales se utilizaron en ciertos cerramientos de los inmuebles estudiados. Por el contrario, maderas con densidades superiores a 600kg/m³ como el cocobolo, el almendro y el laurel, suelen ser más resistentes a la pudrición [32] [35] [36].

La colonización de estos hongos puede comenzar en condiciones de humedad sostenida o en exposición prolongada por encima del 20%, lo que crea un ambiente propicio para su crecimiento [23] [37]. Siendo evidente que los materiales utilizados en la construcción, como la madera, son susceptibles al ataque de hongos, particularmente en climas húmedos. El biodeterioro no solo afecta la estética, en algunos casos compromete la durabilidad estructural [23] [24] [28].

Gracias al uso de la microscopía se identificó un total de 42 especies de hongos presentes en los tres inmuebles estudiados, de estos fue posible identificar la recurrencia de cinco especies en las tres edificaciones y una especie presente en dos edificaciones. La mayoría de estas especies corresponden a ascomicetos, que son hongos que generan principalmente daños de carácter estético a la madera, sin embargo, algunos de ellos (*L. theobromae*, *C. radians*, *A. niger*) tienen la capacidad de degradar celulosa y lignina por lo que podría llegar a causar daños estructurales en la madera.

Se ha podido evidenciar que el uso de la microscopía facilita el proceso de identificación de especies de hongos en la madera, en el caso de edificaciones patrimoniales constituye una herramienta que permite diagnósticos más certeros sin generar afectaciones a los inmuebles. Sin embargo, es recomendable realizar un acompañamiento con análisis molecular para complementar la identificación o lograr identificar aquellos hongos que no esporulen e incluso los no se lograron aislar, pero están presentes en la madera.

Como se ha demostrado con esta aportación, el trabajo interdisciplinario, apoyado en el uso de técnicas no invasivas como la microscopía por el tamaño de muestra, permitió realizar estudios patológicos con respaldo científico y con una visión integral. Los resultados de este tipo de estudio ofrecen valiosos insumos para poder determinar los tratamientos más efectivos tanto para la restauración como para el mantenimiento de edificaciones; sin embargo, es un área en la que, al menos en el país, se requiere mayor profundización y nuevas investigaciones que incluyan este aspecto dentro de su alcance.

Agradecimientos

Las personas autoras de este artículo agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del TEC por el financiamiento de las investigaciones de las cuales se extraen los casos de estudio presentados. Asimismo, agradecen a los distintos investigadores y estudiantes asistentes que participaron como parte del equipo investigador de los proyectos “Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de agentes causantes de lesiones en las edificaciones”,

“Aplicación de técnicas no invasivas para el estudio patológico en edificaciones patrimoniales” y “Caracterización de la arquitectura vernácula de madera de la ciudad de Puntarenas a partir de una perspectiva interdisciplinaria”.

Referencias

- [1] C. Broto and A. Mostaedi, *Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción*. Barcelona, España: Links International, 2005, p. 1389.
- [2] D. Isola, H. Lee, Y. Chung, L. Zucconi, and C. Pelosi, “Once upon a time, there was a piece of wood: Present knowledge and future perspectives in fungal deterioration of wooden cultural heritage in terrestrial ecosystems and diagnostic tools,” *Journal of Fungi*, vol. 10, 2024. doi: 10.3390/jof10050366.
- [3] A. Mohamed, W. Akram, and D. Murali, “A critical review on building pathology,” *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2023. doi.org/10.29322/ijsrp.13.05.2023.p13725.
- [4] M. De Vita, G. Massari, P. De Berardinis, and L. M. Palmero Iglesias, “More comprehension, more protection: Non-destructive techniques in the survey of the former S. Salvatore hospital in L’Aquila, Italy,” *SCIRES-IT*, vol. 9, no. 2, pp. 85-94, 2019.
- [5] B. Tejedor, E. Lucchi, D. Bienvenido-Huertas, D. and I. Nardl. “Non-Destructive Techniques (NDT) for the diagnosis of heritage buildings: traditional procedures and futures perspectives”. *Energy and Buildings*, Vol. 263. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112029>.
- [6] P. Alfieri, D. Alves, and L. Traversa, “Non-destructive diagnosis of the biodeterioration of heritage assets through optical microscopy,” *Journal of Cultural Heritage*, vol. 43, pp. 249-254, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.11.013>.
- [7] F. Schwarze, “Wood decay under the microscope,” *Fungal Biology Reviews*, vol. 21, pp. 133-170, 2007. <https://doi.org/10.1016/J.FBR.2007.09.001>.
- [8] A. Fernández, “El patrimonio histórico-arquitectónico en el panorama cultural de Costa Rica,” *Rev. Herencia*, vol. 23, 2010. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/herencia/article/view/10337>
- [9] K. García-Baltodano, I. Hernández-Salazar, D. Porrás-Alfaro, D. Méndez-Álvarez, D. Chang-Albizurez, E. Salazar-Ceciliano, and M. Guevara-Murillo, “Inventario de edificaciones de arquitectura caribeña costarricense en la ciudad de Limón,” Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2021. <https://hdl.handle.net/2238/13405>.
- [10] K. García-Baltodano and D. Porrás-Alfaro, “Vernacular wooden architecture in the city of Puntarenas: First steps towards its recognition,” *Buildings*, vol. 15, no. 2, p. 182, 2025. <https://doi.org/10.3390/buildings15020182>.
- [11] K. García-Baltodano et al. “Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de agentes causantes de lesiones en las edificaciones”. RepositorioTEC. Accedido el 25 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14556>.
- [12] D. Porrás-Alfaro, K. García-Baltodano, D. Méndez-Álvarez. Estudio del conjunto edificatorio patrimonial del Museo Nacional de Costa Rica desde una perspectiva histórica, arquitectónica y patológica. Actas del 9th REHABEND Congress. Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management. September 13-16, 2022. Granada, España.
- [13] K. García-Baltodano, D. Méndez-Álvarez. “Investigación interdisciplinaria sobre la arquitectura vernácula de Puntarenas”. *InvestigaTEC*, 17, p. 38-43. 2024. <https://doi.org/10.18845/itec.v17i50.7163>
- [14] Climate data, “Clima Limón, Costa Rica”, 2025. [Online]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/costa-rica/limon/limon-19509/> [Fecha de acceso: Marzo, 2025].
- [15] Climate data, “Clima Puntarenas, Costa Rica”, 2025. [Online]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/costa-rica/puntarenas-1002/> [Fecha de acceso: Marzo, 2025].
- [16] Climate data, “Clima San José, Costa Rica”, 2025. [Online]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/costa-rica/alajuela/san-jose-1888/> [Fecha de acceso: Marzo, 2025].
- [17] L. Hilje Quirós, “Un museo nacional para Costa Rica, a mediados del siglo XIX,” *Revista Comunicación*, vol. 35, no. 2, pp. 1-16, Jul.-Dec. 2014. https://www.researchgate.net/publication/316448651_Un_Museo_Nacional_para_Costa_Rica_a_medios_del_siglo_XIX.
- [18] D. Porrás-Alfaro, D. Méndez-Álvarez, and K. García-Baltodano, “Procesos de intervención y estado de conservación del conjunto edificatorio del Museo Nacional de Costa Rica,” *Tecnología en Marcha*, vol. 36, no. 9, pp. 20-33, 2023. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i9.6955>.



- [19] I. Hernández-Salazar, D. Méndez-Álvarez, and K. García-Baltodano, "Estudio de lesiones recurrentes en edificaciones de arquitectura caribeña costarricense y su relación con hongos de pudrición," en *Proceedings of Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management*, mayo, 2024, España.
- [20] R. Moya-Roque and C. Tenorio-Monge, "Informe técnico: Identificación de especies maderables que componen la Casa Misionera Bautista, provincia de Limón, Costa Rica," CIF, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2020, pp. 6.
- [21] R. Moya-Roque, "Informe técnico: Identificación de especies maderables que componen la Escuela El Carmen, provincia de Puntarenas, Costa Rica," CIF, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2023, pp. 3.
- [22] O. Encinas, B. Henningsson, and G. Daniel, "Changes in toughness and fracture characteristics of wood attacked by the blue stain fungus *Lasiodiplodia theobromae*," *Holzforschung*, vol. 52, no. 1, pp. 82–88, 1998. doi:10.1515/hfsg.1998.52.1.82.
- [23] G. Lim, T. K. Tan, and A. Toh, "The fungal problem in buildings in the humid tropics," *International Biodeterioration*, vol. 25, no. 1-3, pp. 27–37, 1989. doi:10.1016/0265-3036(89)90026-2.
- [24] M. J. Kim, Y. S. Choi, J. J. Oh, and G. H. Kim, "Experimental investigation of the humidity effect on wood discoloration by selected mold and stain fungi for a proper conservation of wooden cultural heritages," *Journal of Wood Science*, vol. 66, no. 1, pp. 1-5, 2020.
- [25] J. Douglas and J. Singh, "Investigating dry rot in buildings: The paper indicates a systematic method for surveying buildings for dry rot," *Building Research and Information*, vol. 23, no. 6, pp. 345-352, 1995. doi:10.1080/09613219508727487.
- [26] A.P. Singh, "A review of microbial decay types found in wooden objects of cultural heritage recovered from buried and waterlogged environments," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 13, no. 3, pp. S16-S20, 2012.
- [27] Y. S. Lee, "Observation of soft-rot wood degradation caused by higher Ascomyceteous fungi," *Mycobiology*, vol. 28, no. 1, pp. 47-50, 2000. doi:10.1080/12298093.2000.12015721.
- [28] M. Subramaniam, N. M. Sunar, A. Latif, U. K. Parjo, C. M. Er, and A. R. Ab Razak, "The growth of *Aspergillus niger* on a wood-based material with 4 types of wall finishing," en *MATEC Web of Conferences*, vol. 47, p. 05007, 2016. EDP Sciences.
- [29] G. B. Goffredo, B. Citterio, F. Biavasco, F. Stazi, S. Barcelli, and P. Munafo, "Nanotechnology on wood: The effect of photocatalytic nanocoatings against *Aspergillus niger*," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 27, pp. 125-136, 2017. doi.org/10.1016/j.culher.2017.04.006.
- [30] V. Polizzi, A. Adams, A. M. Picco, E. Adriaens, J. Lenoir, C. Van Peteghem, and N. De Kimpe, "Influence of environmental conditions on production of volatiles by *Trichoderma atroviride* in relation with the sick building syndrome," *Building and Environment*, vol. 46, no. 4, pp. 945-954, 2011. doi:10.1016/j.buildenv.2010.10.024.
- [31] J. Gabriel and K. Švec, "Occurrence of indoor wood decay basidiomycetes in Europe," *Fungal Biology Reviews*, vol. 31, no. 4, pp. 212-217, 2017. https://doi.org/10.1016/j.fbr.2017.05.002.
- [32] J. Chave, H. C. Muller-Landau, T. R. Baker, T. A. Easdale, H. T. Steege, and C. O. Webb, "Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species," *Ecological Applications*, vol. 16, no. 6, pp. 2356-2367, 2006.
- [33] C. Tenorio and R. Moya, "Evaluation of wood properties of four ages of *Cedrela odorata* trees growing in agroforestry systems with *Theobroma cacao* in Costa Rica," *Agroforestry Systems*, vol. 93, no. 3, pp. 973-988, 2019.
- [34] L. D. Pérez Cordero and M. Kanninen, "Intensive management of pochote (*Bombacopsis quinata*) in Costa Rica," en *Memoria del taller-seminario: especies forestales nativas*, Heredia, Costa Rica, 4-5 abril 2002, pp. 80-83.
- [35] G. Reyes, *Wood densities of tropical tree species*, vol. 88, US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1992.
- [36] D. Rodríguez-Pérez, R. Moya, O. Murillo, J. Gaitán-Álvarez, and Y. Badilla-Valverde, "Variation and genetic control of the heartwood, sapwood, bark, wood color parameter, and physical and mechanical properties of *Dipteryx panamensis* in Costa Rica," *Forests*, vol. 13, no. 1, p. 106, 2022.
- [37] A. M. Eligon, A. Achong, and R. Saunders, "Moisture adsorption and desorption properties of some tropical woods," *Journal of Materials Science*, vol. 27, pp. 3442–3456, 1992.
- [38] H. Viitanen, "Factors affecting the development of biodeterioration in wooden constructions," *Materials and Structures*, vol. 27, no. 8, pp. 483–493, 1994. doi:10.1007/bf02473453.

- [39] A. Segura, “Plan de acción para aumentar el uso de madera nacional en la industria de la construcción y de esta forma contribuir a la gestión sostenible de los bosques y el aumento de reservas de carbono forestal”, [en línea], disponible en: <https://reddcostarica.net/publicacion/plan-de-accion-para-aumentar-el-uso-de-madera-nacional-en-la-industria-de-la-construccion/> [Fecha de acceso: 29/04/2025]

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Utilizamos la herramienta de inteligencia artificial *DeepL* para traducir partes de este artículo del inglés al español. La herramienta nos ayudó a agilizar el proceso de traducción, pero realizamos una revisión exhaustiva para asegurar la calidad y precisión de las traducciones.

Estudio de los procesos patológicos en la arquitectura de tierra en Costa Rica: los centros históricos de Cartago y Santo Domingo de Heredia


Study of Pathological Processes in Earthen Architecture in Costa Rica: The Historic Centers of Cartago and Santo Domingo de Heredia

Ileana Hernández-Salazar¹, Mauricio Guevara-Murillo², Jose Pablo Bulgarelli-Bolaños³

Hernández-Salazar, I; Guevara-Murillo, M; Bulgarelli-Bolaños, J.P. Estudio de los procesos patológicos en la arquitectura de tierra en Costa Rica: los centros históricos de Cartago y Santo Domingo de Heredia . *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 112-125.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8299>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 ihernandez@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-2355-0270>

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 mauguevara@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-0884-9231>

3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 jpbulgarelli@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0001-5476-6544>



Palabras clave

Patología de la edificación; patrimonio arquitectónico; inventario; adobe; bahareque.

Resumen

El uso de la tierra como material constructivo en Costa Rica tuvo un importante desarrollo, siendo el bahareque y el adobe los principales sistemas empleados en el país hasta principios del siglo XX. Posterior al terremoto de Santa Mónica en 1910 la tierra fue perdiendo protagonismo como recurso en la industria de la construcción hasta prohibirse su uso en todo el territorio nacional, no obstante, centros urbanos como el de Santo Domingo y Cartago aún cuentan con inmuebles de adobe y bahareque como parte de su paisaje urbano histórico. El proyecto de investigación “Tierra sísmica: Análisis y caracterización física y mecánica de los sistemas constructivos de adobe y bahareque de los centros históricos de la ciudad de Cartago y Santo Domingo de Heredia como punto de partida para su adaptación sismorresistente”, desarrollado por la Escuelas de Arquitectura y Urbanismo en conjunto con la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, desarrolló durante el 2024 una serie de actividades enfocadas en la identificación de la arquitectura de tierra persistente con el objetivo de visibilizarla, analizar los sistemas constructivos y registrar las lesiones presentes. La presente comunicación muestra los primeros resultados del estudio de las lesiones recurrentes en la arquitectura de tierra de ambos centros históricos y su relación con los elementos del sistema constructivo en el que se encuentran. Para el desarrollo de los análisis se realizó levantamiento de información mediante trabajo de campo, elaboración de fichas de inventario para el registro de los elementos constructivos y materiales y la clasificación de las lesiones de acuerdo con su origen en mecánico, orgánico, físico o químico.

Keywords

Construction pathology; architectural heritage; architectural survey; adobe; bahareque.

Abstract

The use of earthen materials in construction in Costa Rica experienced significant development, with bahareque and adobe being the predominant building systems until the early 20th century. Following the 1910 Santa Mónica earthquake, earthen construction lost prominence as a structural resource within the building industry, eventually leading to its prohibition at the national level. However, urban centers such as Santo Domingo and Cartago still retain adobe and bahareque structures as integral elements of their historic urban fabric. The research project “Seismic Earth: Analysis and Physical-Mechanical Characterization of Adobe and Bahareque Construction Systems in the Historic Centers of Cartago and Santo Domingo de Heredia as a Basis for Seismic-Resistant Adaptation”, conducted by the Schools of Architecture and Urbanism and Materials Science and Engineering, of Costa Rica Institute of Technology, implemented a series of research activities throughout 2024 aimed at identifying extant earthen architecture, documenting its presence, analyzing its construction systems, and assessing pathological manifestations. This report presents the preliminary findings regarding recurrent structural and material pathologies in earthen architecture within both historic centers, establishing correlations with the construction system elements in which they manifest. The study was conducted through field surveys, the development of inventory sheets for the documentation of construction elements and materials, and the classification of pathologies based on their underlying mechanisms—whether mechanical, biological, physical, or chemical.

Introducción

Al igual que en otros países alrededor del mundo, en Costa Rica la tierra se ha empleado como material de construcción desde la época prehispánica. Inicialmente fue utilizado para rellenar los espacios que dejaban los elementos de madera o caña para proteger de la lluvia y el viento el interior de las edificaciones. Este tipo de bahareque evolucionó e incorporó otros materiales, hasta convertirse en el sistema constructivo que conocemos en la actualidad. En el caso del adobe es considerado un sistema importado que fue introducido al país por los españoles, quienes lo utilizaron para la construcción de las primeras ciudades durante la época de la conquista [1].

Las edificaciones de tierra caracterizaron los centros urbanos, el adobe se empleó en la construcción de templos, edificios gubernamentales, conventos y casas, mientras que el bahareque se mantuvo para los inmuebles de los indígenas que generalmente se ubicaron en la periferia. Ciudades importantes de la época colonial como Cartago y otras más recientes resultado de la expansión del comercio y cultivo del café [2] como Santo Domingo de Heredia, se caracterizaron por edificar sus inmuebles con estas técnicas constructivas. A pesar de ello, los centros urbanos han sufrido una serie de transformaciones que involucran no solo la expansión de las zonas urbanas y el aumento demográfico sino también el reemplazo de edificaciones mediante la incorporación de nuevos sistemas constructivos.

Como resultado de estos procesos, a la fecha, Costa Rica no cuenta con registros actualizados que permitan conocer el número de inmuebles de tierra que se mantienen actualmente ni su estado de conservación. Además, desde principios de siglo XX se impusieron limitaciones para el uso del adobe y posteriormente para el bahareque en la construcción [3], lo que ha traído como consecuencia el deterioro de las edificaciones existentes, malas prácticas para la conservación de los inmuebles, el olvido de los saberes en torno a la fabricación y mantenimiento de la arquitectura de tierra y la demolición de muchas de estas estructuras.

El proyecto de investigación “Tierra sísmica: Análisis y caracterización física y mecánica de los sistemas constructivos de adobe y bahareque de los centros históricos de la ciudad de Cartago y Santo Domingo de Heredia como punto de partida para su adaptación sismorresistente” ha desarrollado durante el año 2024 y 2025, un proceso de identificación y registro de las edificaciones de tierra en ambos centros históricos. Con este proceso se pretende contar con un inventario que permita dar a conocer los inmuebles existentes de adobe y bahareque, analizar en detalle ambos sistemas constructivos y sus lesiones y, mediante estudios de laboratorio, caracterizar los materiales empleados para el planteamiento de relaciones comparativas.

Durante el desarrollo del primer objetivo del proyecto se analizaron edificaciones en tierra previamente inventariadas, para determinar el estado de conservación e integridad de los elementos que componen dichos inmuebles. A través de una metodología de investigación aplicada, sustentada en el análisis documental y de campo, se recopilieron datos detallados que permitieron clasificar cada elemento según su nivel de deterioro y posibles afectaciones estructurales o estéticas.

Los resultados obtenidos brindan un panorama descriptivo de ambos casos, identificando lesiones recurrentes en estructura primaria, secundaria y terciaria, que posteriormente permitirán asociarse con factores de riesgo y necesidades de intervención. La información presentada en este documento servirá como base para futuras acciones de conservación y mantenimiento, que apoyen a la preservación del patrimonio arquitectónico en estudio.

Materiales y métodos

Como parte del tercer objetivo del proyecto de investigación “Tierra sísmica: Análisis y caracterización física y mecánica de los sistemas constructivos de adobe y bahareque de los centros históricos de la ciudad de Cartago y Santo Domingo de Heredia como punto de partida para su adaptación sismorresistente” se desarrolla un análisis de las lesiones presentes en las edificaciones que utilizan sistemas constructivos de adobe y bahareque.

El análisis se centró en la identificación de lesiones según la clasificación de Broto [4] por su origen mecánico, orgánico, físico o químico en un conjunto de edificaciones inventariadas en los centros históricos de Cartago y de Santo Domingo de Heredia, como parte de etapas iniciales del proyecto de investigación. Este inventario llevó a la selección de 122 edificaciones donde se identificó la utilización de los sistemas constructivos de tierra, 24 inmuebles para la zona de Cartago y 98 para el centro histórico de Santo Domingo de Heredia. El total de edificaciones constituyó la muestra para el desarrollo del estudio de las lesiones.

El proceso de análisis se sustentó en tres etapas fundamentales:

- El registro de la información en una ficha de inventario.
- La compilación y sistematización de la información.
- El análisis de los datos.

La primera etapa se realizó a través de una ficha de inventario basada en el trabajo de García et al. [5] que detalla para cada una de las edificaciones de la muestra, el listado de los elementos estructurales y su materialidad, así como las lesiones presentes en los mismos clasificándolas de acuerdo con su origen en mecánicas, orgánicas, físicas, o químicas. En el Cuadro 1 se presenta el detalle de los elementos estructurales registrados con la materialidad probable; en el Cuadro 2 en cambio se detalla el tipo de lesiones registradas y sus posibles manifestaciones. Se hace la aclaración de que se considera materialidad probable, ya que el procedimiento para determinar los materiales de los distintos elementos de las edificaciones fue mediante inspección visual durante visitas de trabajo de campo desarrolladas en el año 2024 y primer trimestre del 2025.

Cuadro 1. Detalle de elementos estructurales registrados en la ficha de inventario y su posible materialidad.

Elementos estructurales analizados	Posible materialidad
Estructura primaria	Adobe Bahareque Madera Muro Seco Concreto Piedra Acero Teja Lámina HG PVC Policarbonato Vidrio Aluminio Otro Sin Referencia
Paredes exteriores	
Paredes interiores	
Zócalo	
Vigas	
Columnas	
Estructura secundaria	
Estructura de cubierta	
Cubierta	
Entrepiso	
Piso	
Repello	
Cielo raso	
Estructura Terciaria	
Ventanas	
Puertas	
Portones	
Barandas	
Tapichel	

Cuadro 2. Detalle de las lesiones registradas y sus manifestaciones.

Tipo de lesiones inventariadas	Manifestaciones
Lesiones mecánicas	Grietas verticales en esquina. Grietas diagonales en esquina. Grietas en equis Grietas en buques Grietas verticales Grietas horizontales Desplome Disgregación
Lesiones orgánicas	Ataque de agentes biológicos
Lesiones físicas	Cuarteado Desprendimiento Pérdida Elementos impropios
Lesiones químicas	Corrosión

La recopilación de la información se realizó como parte del trabajo de campo de identificación de las edificaciones de interés en las zonas de estudio. Esta labor requirió varias visitas al lugar, primero para realizar un pilotaje de la ficha, posteriormente para la recopilación inicial y el levantamiento fotográfico de los inmuebles y sus lesiones para, finalmente, realizar la rectificación de datos durante una última visita.

Una vez realizada la fase de recopilación, se procedió con la sistematización de la información en una tabla de Excel, que facultara la generación de información para el análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados. En la Figura 1 se detalla un ejemplo de las lesiones encontradas y compiladas en la presente investigación.



Figura 1. Principales lesiones identificadas e inventariadas en las edificaciones analizadas.

Un proceso de análisis conjunto entre las fichas, el registro fotográfico y los datos estadísticos permitió la caracterización y análisis de las lesiones presentes en las edificaciones de adobe y bahareque inventariadas.

Resultados

Ciudad de Santo Domingo, Heredia

Luego del trabajo de campo y del levantamiento fotográfico se desarrollaron un total de 98 fichas de inventario. En el Cuadro 3, se detalla el sistema constructivo identificado para las 98 edificaciones inventariadas en este centro histórico; se evidencia un mayor porcentaje del uso del adobe, 91% frente al bahareque. Además, se encontraron edificaciones que presentan una combinación de ambos sistemas, a estos se les denominó como mixtos y representan el 5% del total de inmuebles registrados.

Cuadro 3. Distribución de las edificaciones de tierra inventariadas en Santo Domingo de Heredia, según sistema constructivo.

Sistema constructivo	Número de edificaciones	Porcentaje
Adobe	89	91%
Bahareque	4	4%
Mixto	5	5%
Total	98	100%

Otros de los aspectos que se incorporaron en las fichas fueron el estado de conservación y la integridad de las edificaciones. En el primer caso se establecen los siguientes niveles:

- Muy bueno: No se evidencia la presencia de lesiones.
- Bueno: Presenta algunas lesiones de tipo superficial en elementos de la estructura secundaria o terciaria.
- Regular: Presenta algunas lesiones de tipo estructural en elementos de la estructura primaria y lesiones de tipo superficial en elementos de la estructura secundaria o terciaria.
- Malo: Presenta múltiples lesiones de tipo estructural en elementos de la estructura primaria y lesiones de tipo superficial en elementos de la estructura secundaria o terciaria.
- En abandono: Edificación en desuso. Alto riesgo de pérdida.

En cuanto a la integridad, se realizó una clasificación de acuerdo con las siguientes definiciones:

- Sin transformar: La edificación no ha sido transformada, no presenta alteraciones en el lenguaje arquitectónico.
- Poco transformado: La edificación presenta algunas transformaciones, sin embargo, mantiene el lenguaje arquitectónico.
- Muy transformado: La edificación ha perdido la mayor parte del lenguaje arquitectónico.

En el Cuadro 4 se presenta un resumen del estado de conservación e integridad de los inmuebles inventariados en la zona de Santo Domingo de Heredia. Como se observa, predominan las edificaciones en estado bueno y regular, mientras que, en términos de integridad, son pocos los inmuebles que no han sufrido transformaciones, estando la mayoría poco transformados. En este punto cabe destacar que el proceso preliminar descartó alrededor de 30 edificaciones en la zona, debido al alto deterioro o nivel de transformación que impedía asociarlas con las tipologías constructivas en estudio.

Cuadro 4. Caracterización de las edificaciones de tierra inventariadas en Santo Domingo de Heredia, según estado de conservación e integridad.

Estado de conservación			Integridad		
	#	%		#	%
Muy bueno	7	7%	Sin transformar	5	5%
Bueno	56	57%			
Regular	22	23%	Poco transformado	81	83%
Malo	8	8%			
En abandono	5	5%	Muy transformado	12	12%
Total	98	100		98	100

Para el caso de la estructura primaria, predominan las lesiones mecánicas en las paredes, siendo las grietas en buques, las grietas verticales y las grietas horizontales las más recurrentes. En el caso de la estructura secundaria las lesiones físicas en los repellos son las más frecuentes, como la presencia de elementos impropios, el desprendimiento y el cuarteado, mismos que pueden relacionarse con la sustitución de los revocos de tierra por repellos de concreto. De igual forma es significativa la cantidad de lesiones orgánicas que se registran principalmente en los elementos de las cubiertas y cielos rasos. Este tipo de lesiones se relacionó con la presencia de agentes biológicos como los insectos y los hongos.

Con respecto a otros tipos de lesiones, las de tipo químico correspondientes con manifestaciones de corrosión, es la más frecuente, evidente en las cubiertas de las edificaciones. Ver Cuadro 5 donde se detallan la lesiones identificadas.

Cuadro 5. Detalle de las lesiones identificadas en las edificaciones de tierra inventariadas en Santo Domingo de Heredia, según tipo de lesión para estructuras primarias y secundarias.

Estructura primaria			Estructura secundaria		
Tipo de lesión	Manifestación		Tipo de lesión	Manifestación	
Lesiones mecánicas	Grietas verticales en esquina	11	Lesiones mecánicas	Grietas verticales en esquina	0
	Grietas diagonales en esquina	9		Grietas diagonales en esquina	1
	Grietas en equis	3		Grietas en equis	0
	Grietas en buques	45		Grietas en buques	0
	Grietas verticales	39		Grietas verticales	4
	Grietas horizontales	24		Grietas horizontales	1
	Desplome	10		Desplome	3
	Disgregación	4		Disgregación	9
		145			18
Lesiones Orgánicas	Ataque de agentes biológicos	4	Lesiones Orgánicas	Ataque de agentes biológicos	57
		4			57
Lesiones físicas	Cuarteado	0	Lesiones físicas	Cuarteado	19
	Desprendimiento	1		Desprendimiento	21
	Pérdida	1		Pérdida	10
	Elementos impropios	3		Elementos impropios	90
		5			142
Lesiones químicas	Corrosión	0	Lesiones químicas	Corrosión	39
		0			39
Total		154	Total		256

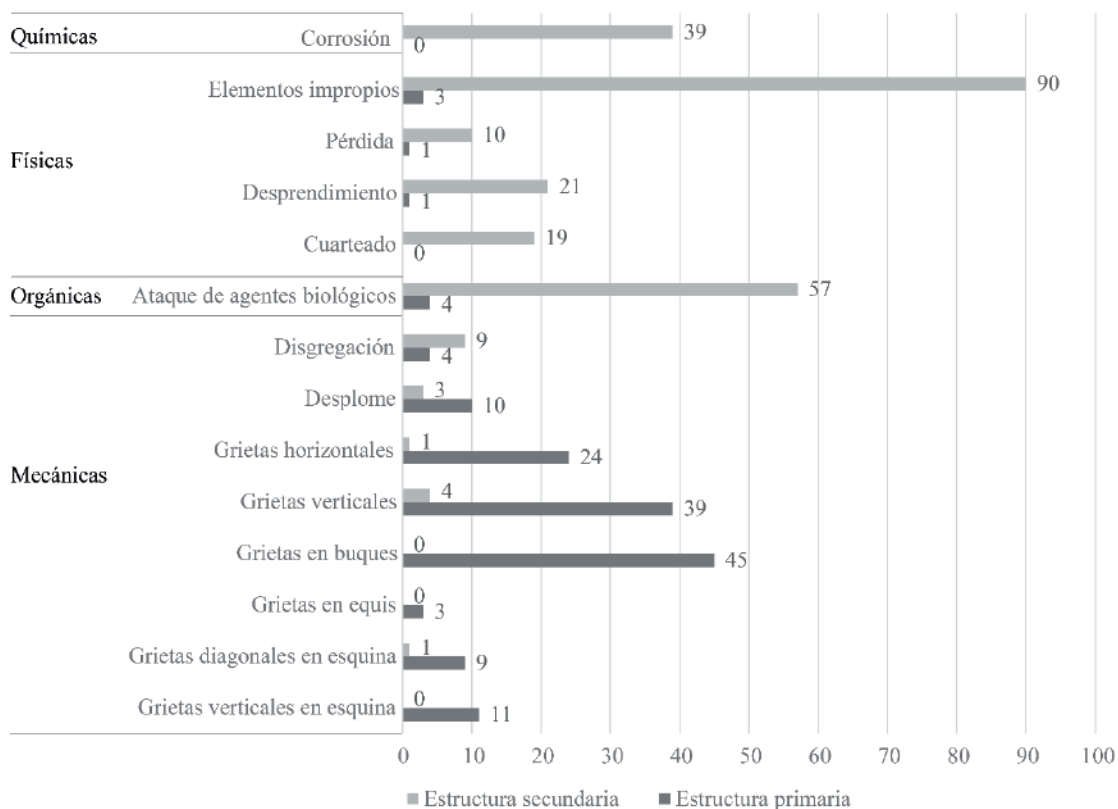


Figura 2. Distribución de las lesiones inventariadas en las edificaciones de tierra de Santo Domingo de Heredia, según tipo de estructura.

La Figura 2 muestra un barrido general del comportamiento de las lesiones en las estructuras primarias y secundarias. Como puede observarse, los elementos impropios, el ataque de agentes biológicos y las grietas en buques de puertas o ventanas son las lesiones más recurrentes en las edificaciones.

Ante la afectación significativa del ataque de agentes biológicos, se reseña en el Cuadro 06 el detalle de los elementos afectados por estos agentes, los cuales se presentan mayoritariamente en los elementos de la estructura secundaria.

Cuadro 6. Detalle de elementos afectados por lesiones orgánicas para las edificaciones de tierra inventariadas en Santo Domingo de Heredia.

Tipo de lesión	Elementos afectados	Total de casos
Ataque de agentes biológicos	Vigas externas	4
	Estructura de cubierta	19
	Cubierta	10
	Cielos rasos	26
	Ventanas	44
	Puertas	21
	Otros	4
Total		128

Ciudad de Cartago

De forma similar se abordó el levantamiento y registro en la zona de Cartago, sin embargo y dado que dentro de la delimitación del Centro Histórico (CH) se identificó un número reducido de edificaciones que utilizaron las técnicas constructivas de adobe y bahareque, fue necesario ampliar el trabajo de campo fuera de la delimitación del centro fundacional hacia los poblados de San Blas, El Carmen y San Nicolás.

Para este caso de estudio se identificó una muestra total de 24 inmuebles de los cuales sólo el 8% son de adobe, un 88% bahareque y el restante 4% combina ambas técnicas por lo que se categorizó como mixto. Sin embargo, tal y como se refleja en el Cuadro 7, del total de viviendas 38% se encuentran dentro de la delimitación del CH y el restante 62% se ubicó en los asentamientos aledaños.

Al igual que para el caso de Santo Domingo de Heredia, se incorporó en las fichas de inventario el estado de conservación y la integridad de las edificaciones bajo los mismos criterios establecidos anteriormente. En el Cuadro 7 se describe la distribución de edificaciones inventariadas en la zona de estudio según el sistema constructivo.

Cuadro 7. Distribución de las edificaciones de tierra inventariadas en la Zona de Cartago, según tipología de sistema constructivo y área de estudio.

	Sistema constructivo	Número de edificaciones	Porcentaje
Dentro de la delimitación del centro histórico.	Adobe	0	0%
	Bahareque	9	38%
	Mixto	0	0%
Fuera de la delimitación del centro histórico y en asentamientos aledaños.	Adobe	2	8%
	Bahareque	12	50%
	Mixto	1	4%
	Total	24	100%

El Cuadro 8 sintetiza el estado de conservación y la integridad de las edificaciones de la zona de Cartago de las cuales más del 46% se encuentran en un estado bueno o superior. Respecto a la integridad, si bien existe un porcentaje mayor de edificaciones sin transformar respecto al otro caso de estudio, la situación en números absolutos es similar, considerando que en la zona de Cartago se identificó menos de la tercera parte de edificaciones registradas en Santo Domingo de Heredia y por tanto el tamaño de la muestra es menor.

Cuadro 8. Caracterización de las edificaciones de tierra inventariadas en Cartago, según estado de conservación e integridad.

Estado de conservación			Integridad		
	#	%		#	%
Muy bueno	2	8%	Sin transformar	4	17%
Bueno	9	38%			
Regular	8	33%	Poco transformado	16	66%
Malo	0	0%			
En abandono	5	21%	Muy transformado	4	17%
Total	24	100	Total	24	100

Con respecto a las lesiones el Cuadro 9 reseña los resultados de este registro. En la estructura primaria predominan las lesiones mecánicas que afectan a los muros de los inmuebles, las grietas verticales, grietas verticales en esquinas y grietas en buques son las más recurrentes. Respecto a las estructuras secundarias, las principales lesiones son físicas y orgánicas, se reporta, a nivel de repello, la presencia de elementos impropios y desprendimiento, así como el ataque de agentes biológicos, este último asociado a los cielos rasos. Finalmente se registran lesiones químicas como la corrosión en las cubiertas. En este punto es importante aclarar, que si bien el material que originalmente se empleó como cerramiento de cubierta fue la teja, en la mayor parte de las edificaciones existentes se evidencia la sustitución de esta por lámina de hierro galvanizado.

Cuadro 9. Detalle de las lesiones identificadas en las edificaciones de tierra inventariadas en Cartago, según tipo de lesión para estructuras primarias y secundarias.

Estructura primaria			Estructura secundaria		
Tipo de lesión	Manifestación		Tipo de lesión	Manifestación	
Lesiones mecánicas	Grietas verticales en esquina	8	Lesiones mecánicas	Grietas verticales en esquina	0
	Grietas diagonales en esquina	5		Grietas diagonales en esquina	0
	Grietas en equis	0		Grietas en equis	0
	Grietas en buques	7		Grietas en buques	0
	Grietas verticales	7		Grietas verticales	0
	Grietas horizontales	2		Grietas horizontales	0
	Desplome	3		Desplome	0
	Disgregación	5		Disgregación	4
		37			4
Lesiones Orgánicas	Ataque de agentes biológicos	6	Lesiones Orgánicas	Ataque de agentes biológicos	14
		6			14
Lesiones físicas	Cuarteado	0	Lesiones físicas	Cuarteado	8
	Desprendimiento	3		Desprendimiento	9
	Pérdida	1		Pérdida	5
	Elementos impropios	2		Elementos impropios	17
		6			39
Lesiones químicas	Corrosión	0	Lesiones químicas	Corrosión	20
		0			20
Total		49	Total		77

La Figura 3 muestra de forma general la distribución de las lesiones identificadas en las edificaciones de adobe y bahareque de la zona de Cartago. Según se observa las más recurrentes se presentan en la estructura secundaria, como las lesiones por corrosión, la presencia de elementos impropios y el ataque de agentes biológicos.

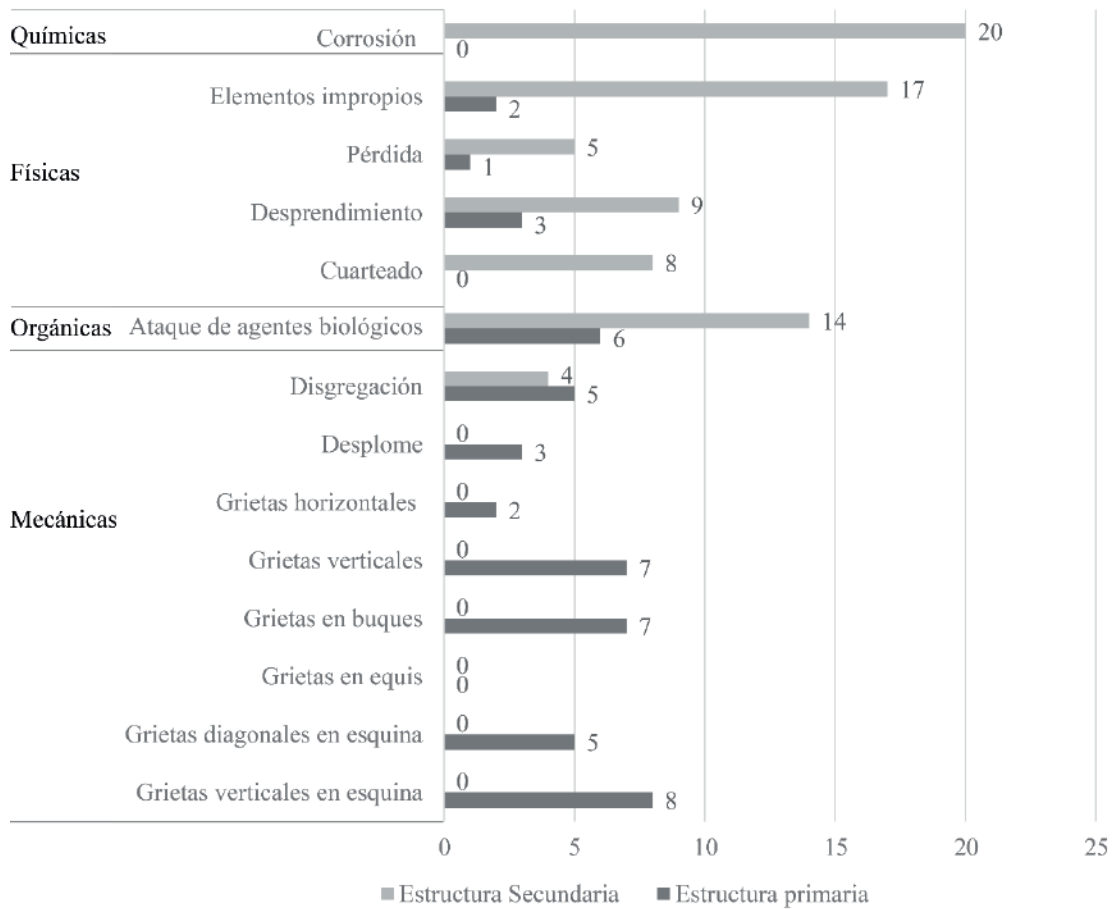


Figura 3. Distribución de las lesiones inventariadas en las edificaciones de tierra de Cartago, según tipo de estructura.

Por otra parte, y con el objeto de ilustrar el comportamiento de las lesiones orgánicas, se muestra en el Cuadro 10 el detalle de los elementos afectados por el ataque de agentes biológicos, siendo las carpinterías de puertas y ventanas y cielos rasos los más afectados, así como las estructuras de cubierta y las vigas para el caso de las estructuras secundarias y primarias respectivamente.

Cuadro 10. Detalle de elementos afectados por lesiones orgánicas para las edificaciones de tierra inventariadas en Cartago.

Tipo de lesión	Elementos afectados	Total de casos
Ataque de agentes biológicos	Vigas externas	5
	Estructura de Cubierta	7
	Cielos rasos	7
	Ventanas	15
	Puertas	12
	Otros	2
Total		48

Conclusiones

A partir del análisis de los resultados, se pueden identificar las siguientes diferencias entre las edificaciones de adobe y bahareque en los casos de estudio de Santo Domingo de Heredia y Cartago:

Distribución geográfica y cantidad de edificaciones registradas:

En el centro histórico de Santo Domingo de Heredia, hay un mayor número de edificaciones identificadas con los sistemas de adobe y bahareque, 98 en total, siendo el primero el predominante en esta zona. En Cartago, el número de edificaciones de adobe y bahareque es menor, 24 inmuebles en total entre ambos sistemas, esto considerando la ampliación de la zona de estudio que contempló los caseríos aledaños al centro histórico.

En la ciudad de Cartago predomina el bahareque, mientras que las edificaciones de adobe encontradas en esta zona de estudio se ubican en el barrio de San Nicolás, estos hechos responden a la sustitución de los sistemas constructivos posterior al terremoto de 1910 y a la prohibición para el uso del adobe en dicha ciudad. La distribución y cantidad de inmuebles de tierra existentes varía entre ambas ciudades y podría vincularse a factores históricos, geológicos, sociales, ambientales y de conservación. Es necesario profundizar en el análisis para determinar cuáles aspectos inciden directamente en la permanencia de edificaciones de estos sistemas constructivos.

Tipos de lesiones recurrentes y procesos de deterioro

Las edificaciones de adobe de Santo Domingo presentan mayor cantidad de lesiones de tipo mecánico, especialmente grietas verticales, grietas en buques, horizontales y verticales en esquinas. Esto evidencia que este sistema constructivo es más propenso a sufrir lesiones relacionadas con esfuerzos sobre la estructura que podrían estar vinculadas a su rigidez y peso, haciéndolo más vulnerable a movimientos sísmicos y asentamientos diferenciales del suelo.

En cuanto al deterioro por lesiones físicas, las edificaciones de adobe están mayormente afectadas por la disgregación del material. La erosión y pérdida de cohesión del barro son problemas comunes, especialmente en zonas donde la exposición a la humedad es mayor como en las edificaciones con aleros muy cortos, presencia de filtraciones de la cubierta y los muros de tierra apoyados en el suelo en ausencia de zócalos.

Las edificaciones de bahareque de ambos centros históricos presentan mayormente lesiones orgánicas y físicas, como el ataque de agentes biológicos, desprendimientos y pérdida de material. Estas lesiones recurrentes responden a los componentes propios del sistema constructivo, que, al estar compuesto por una estructura de madera, caña y relleno de barro, es más vulnerable a la humedad y a la acción de microorganismos, lo que compromete su estabilidad con el tiempo. El uso de materiales vegetales muchas veces sin tratamiento previo a su puesta en obra, las filtraciones o la pérdida de repello podrían estar relacionados con la aparición de ataques por agentes biológicos en los elementos estructurales del bahareque.

Los procesos de deterioro de las edificaciones en bahareque se relacionan con daños causados principalmente por factores ambientales y biológicos. La pérdida de material en los revestimientos de barro puede dejar expuesta la estructura de madera, acelerando su deterioro. No obstante, se observa menor cantidad de grietas estructurales en las edificaciones de bahareque, lo que sugiere un mejor comportamiento sísmico y mayor flexibilidad.

Estado de conservación e integridad

Como se pudo observar, en ambas zonas de estudio las edificaciones de tierra han sufrido modificaciones. En el centro histórico de Santo Domingo, un 83% de los inmuebles ha sido poco transformado, no obstante, aún mantiene su lenguaje arquitectónico. El 12% de las edificaciones inventariadas se encontró como muy transformada. Por su parte, los inmuebles poco transformados en Cartago son el 69%, mientras que los muy transformados representan el 17% de la muestra. En este sentido es importante considerar la necesidad de contar con herramientas que permitan a los propietarios guiar las intervenciones en sus edificaciones considerando los valores y las características que poseen estos inmuebles, de forma que su lenguaje arquitectónico pueda mantenerse.

Con respecto al estado de conservación, las edificaciones de Santo Domingo están mejor conservadas que las de Cartago. Un 57% de los inmuebles inventariados en Santo Domingo está en buen estado de conservación, frente a un 41% en la ciudad de Cartago. Además, se encontró que el 5% de las edificaciones heredianas están en abandono, mientras que en este mismo rubro en la zona de Cartago se registraron 17%.

Es evidente la necesidad de contar con acciones que aporten al reconocimiento de la arquitectura de tierra en ambas ciudades, de manera que puedan protegerse y ponerse en valor. Asimismo, es importante incidir sobre los mecanismos que se dirijan a conservar estos inmuebles desde el rescate de sus técnicas constructivas, de manera que las labores de intervención sean más apropiadas y accesibles por parte de los propietarios.

Agradecimientos

El equipo de investigación del proyecto “Tierra sísmica: Análisis y caracterización física y mecánica de los sistemas constructivos de adobe y bahareque de los centros históricos de la ciudad de Cartago y Santo Domingo de Heredia como punto de partida para su adaptación sismorresistente”, agradece a la Vicerrectora de Investigación y Extensión del TEC y a la Escuela de Arquitectura y Urbanismo por el apoyo para la realización de este proyecto. Al mismo tiempo, extendemos nuestro agradecimiento al equipo de estudiantes asistentes que, con su colaboración, han contribuido al desarrollo de las actividades vinculadas al logro de los objetivos de esta investigación.

Referencias

- [1] E. Fonseca and J.E. Garnier, “Historia de la arquitectura en Costa Rica,”, 1998.
- [2] I. Molina Jiménez, “Historia de Costa Rica: breve, actualizada y con ilustraciones”, ed. 2 edición., 2007.
- [3] Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de, Costa Rica, “Código Sísmico de Costa Rica 2010”, ed. Quinta edición (5 edición)., 2013.
- [4] C. Broto, “Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción”, 2005.
- [5] K. García-Baltodano, I. Hernández-Salazar, D. Porras-Alfaro, D. Méndez-Álvarez, D. Chang-Albizurez, E. Salazar-Ceciliano and M. Guevara-Murillo, “Inventario de edificaciones de arquitectura caribeña costarricense en la ciudad de Limón”, Instituto Tecnológico de Costa Rica. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/2238/13405>

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Para la revisión gramatical y ortográfica de este artículo, empleamos la herramienta de IA *Copilot*. Esta nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista.

Construcción social del Centro Histórico de Liberia, Costa Rica


The social construction of the historic center of Liberia, Costa Rica

Dominique Chang-Albizurez¹, Rosa Elena Malavassi-Aguilar²

Chang-Albizurez, D; Malavassi-Aguilar, R.E. Construcción social del Centro Histórico de Liberia, Costa Rica . *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 126-139.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8300>


1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Costa Rica.

 dchang@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-9813-2006>

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Costa Rica.

 rmalavasi@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0001-6051-1062>



Palabras clave

Conservación; centro urbano; patrimonio cultural; gestión del patrimonio; proceso participativo.

Resumen

Liberia, la ciudad más importante de Guanacaste, es el primer centro histórico del país delimitado por un acuerdo Municipal, a pesar de contar con el respaldo de la comunidad, ha tenido pocos avances como proyecto. Desde la universidad pública y por medio del proyecto de extensión “La Construcción social del Centro Histórico de la ciudad de Liberia, como insumo para su gestión sostenible” se brinda apoyo y acompañamiento a la Municipalidad de Liberia la Asociación para la Cultura de Liberia y la comunidad en general por medio de una metodología participativa para construir de manera conjunta la idea de Centro Histórico; con el fin último de conservar su patrimonio cultural, su arquitectura en tierra, sus tradiciones y la conformación de la ciudad desde el siglo XVIII, como ciudad de paso y como encrucijada cultural. El artículo muestra el proceso metodológico, la investigación-acción-participante (IAP) realizado y sus principales resultados, la visión construida y los lineamientos generales de gestión organizados en cuatro dimensiones. A la vez que reflexiona sobre las diversas perspectivas implícitas en los enfoques participativos, las complejidades, los obstáculos y las diversas narrativas que no siempre se ven reflejadas en los modelos tradicionales de conservación del patrimonio cultural.

Keywords

Conservation; urban center; cultural heritage; heritage management; participatory process.

Abstract

Despite its designation as the country’s first historic center—delimited by municipal decree and supported by the local community—Liberia has made limited progress in its preservation and development. Through the extension project “*The Social Construction of the Historic Center of the City of Liberia: An Input for Its Sustainable Management*,” the Public University, in collaboration with the Municipality of Liberia, the Association for the Culture of Liberia, and the broader community, has employed a participatory methodology to collectively formulate a comprehensive vision for the Historic Center. This initiative seeks to safeguard Liberia’s cultural heritage, including its distinctive earthen architecture and historical traditions, while honoring its role since the eighteenth century as a hub for cultural exchange and a crossroads of diverse influences. This article presents the methodological process, grounded in Participatory Action Research (PAR), and its key outcomes: a co-created vision and general management guidelines structured across four dimensions. Additionally, it critically reflects on the complexities of participatory approaches, highlighting the challenges, barriers, and often-overlooked narratives that emerge beyond conventional frameworks of cultural heritage conservation.

Introducción

Los inicios de la actual ciudad de Liberia se remontan al siglo XVII, cuando terratenientes de Rivas (Nicaragua) establecieron haciendas ganaderas en la zona. La intersección de los caminos que facilitaban las actividades comerciales entre el Valle Central de Costa Rica y Nicoya, con Nicaragua y el resto de Centro América propició la fundación del pueblo El Guanacaste en 1796 [1].

En la figura 1, se muestra el mapa más antiguo que se conserva de la ciudad de Liberia, elaborado por José María Figueroa en 1870 [2], ilustra justamente ese cruce de caminos, que hoy corresponde a la Calle Real y la Avenida 25 de julio.



Figura 1. Liberia en 1870. Fuente [2].

Como se observa, el centro urbano corresponde a la distribución ortogonal típica de la época colonial. Con el tiempo, el núcleo urbano creció y evolucionó hasta convertirse en centro económico del cantón, manteniendo el recuerdo de la “ciudad blanca” gracias a sus casas de adobe y bahareque, con sus puertas del sol que evidencian el vínculo histórico con la ciudad de Rivas en Nicaragua. [3].

La iniciativa del Centro Histórico (CH) de Liberia surgió debido a la preocupación por la preservación de la arquitectura en tierra, liderada por la Asociación para la Cultura de Liberia, quienes también velan por la identidad cultural reflejada en el Tope de Toros, la gastronomía y la figura del sabanero entre otros [4]. A partir de estos esfuerzos, la Municipalidad realizó en el 2007 la declaratoria que delimitó oficialmente el Centro Histórico de Liberia [5].

El concepto de centro implica la delimitación de un perímetro que puede excluir espacios valiosos; en el contexto europeo muchos centros históricos están delimitados por murallas como es el caso de Sevilla y Boloña, por citar algunos. Sin embargo, en Latinoamérica la idea de Centro Histórico trasciende los límites físicos [3] [6]. La idea de Centro Histórico en Costa Rica

debe considerar que el patrimonio es una construcción social, es decir es un proceso dinámico que dota de significado a las representaciones, prácticas culturales y tradiciones, no es una colección de objetos o un lugar estático, si no algo vivo que refleja la identidad y los valores de una comunidad.

El Centro Histórico es un espacio habitado, es el “lugar” que dio inicio a las ciudades actuales y es el resultado de la interacción entre las personas y el entorno [7]. Bajo esta premisa, el primer paso para esa construcción social del Centro Histórico de Liberia era que la comunidad construyera de manera participativa una visión, en el entendido de que la visión es un deseo a futuro, una imagen que se anhela, que permite visualizar a donde se quiere llegar y que permite orientar todas las acciones en una ruta que nos lleve a ese deseo o imagen [8].

En este sentido, en toda transformación de espacios urbanos se debe tener claro hacia dónde se encamina.

En muchos casos las transformaciones hacen que la población olvide ciertos recuerdos y memorias que la vinculen con el lugar. Como indica Körmeçli [9], las conexiones entre pasado, presente y futuro que establecen los usuarios de un espacio permite que los individuos creen un sentido de lugar y pertenencia como parte de su identidad. Toda comunidad necesita imágenes que reflejen esa identidad; estas imágenes suelen estar asociadas a elementos tangibles, como casas, plazas y calles, entre otros que finalmente hace que su ciudad se distinga de otras ciudades.

La imagen de ciudad; pasada, presente y futura; es el reflejo de las redes de relaciones que los residente y visitantes establecen en sus mentes con sus diversos elementos, algunos necesariamente históricos. Mientras más fuerte sea la relación entre la imagen de ciudad y sus elementos, mayor será el significado que se les asigne.

El centro histórico como idea requiere necesariamente una construcción de base social, que integre activamente las aportaciones de la comunidad para hacerla sostenible en el tiempo. Solo mediante los esfuerzos verdaderamente colectivos se puede influir de manera significativa en su conservación, comprendiendo que su configuración debe seguir evolucionando y cambiando como ciudad y paisaje vivo, sin perder los elementos materiales e inmateriales fundamentales de su identidad cultural.

El Instituto Tecnológico de Costa Rica ha venido desarrollando, desde el año 2020, un proyecto de extensión en colaboración con la comunidad de Liberia, articulado en etapas secuenciales. La primera etapa (2020-2021) se centró en la generación de una línea base para la gestión sostenible del Centro Histórico de Liberia. Posteriormente, durante el período 2022-2025, se implementó la segunda etapa, orientada a la construcción social de una visión compartida para dicha gestión. Este artículo deriva específicamente de dicha fase y tiene como objetivo presentar los resultados del proceso participativo de construcción de la visión a futuro, como un componente clave del proyecto en su conjunto. De esta manera, se evidencia cómo los hallazgos aquí expuestos contribuyen al marco estratégico para la sostenibilidad de su Centro Histórico.

Materiales y métodos

La estrategia de abordaje metodológico es la investigación-acción-participante (IAP), desde enfoques mixtos (cualitativos y cuantitativos), y de carácter inter y transdisciplinario, en la que participaron, profesionales de arquitectura, antropología, geografía e ingeniería en computación. Esta diversidad disciplinar enriqueció el análisis y permitió una discusión comprensiva del proceso. Esta estrategia participativa facilitó el desarrollo de relaciones horizontales y la construcción colectiva de conocimiento entre todos los actores involucrados.

El proceso metodológico incluyó fases secuenciales desarrolladas durante el 2022 y 2023, que incluyeron talleres participativos, entrevistas en profundidad, observación participante, conversaciones informales y exposiciones en espacios públicos entre otros. De todos los procesos se llevó un registro audiovisual, toda la información fue analizada y sistematizada para conocer el sentido y significado que las personas participantes le asignan al centro histórico de Liberia.

En el marco de este estudio, se establece una distinción conceptual entre actores clave y participantes. Los actores clave se definen como aquellos individuos o instituciones con capacidad de influencia directa en la toma de decisiones relacionadas con el centro histórico, ya sea por su posición institucional, liderazgo reconocido o control sobre recursos estratégicos. Por otro lado, el proceso de participación fue deliberadamente inclusivo, incorporando además a ciudadanos y organizaciones sin capacidad de incidencia formal, pero cuyas percepciones y experiencias resultan valiosas para comprender las dinámicas sociales del territorio. Esta aproximación dual permitió, por un lado, identificar los centros de poder reales y, por otro, recoger visiones representativas de la diversidad social y cultural.

El proyecto en sus diferentes etapas busca alinearse con los niveles más altos de participación de la escalera de Arnsterin (1969), actualizado con marcos contemporáneos como el de Collins & Ison (2010), se adoptó un enfoque no jerárquico que combinó co-creación con actores clave [11]. Por ello los criterios de participación fueron: (1) residir en el distrito de Liberia, (2) manifestar interés en el centro histórico, y (3) disponibilidad para colaborar en el proceso. La muestra final estuvo compuesta por representantes de diversos sectores, incluyendo agrupaciones formales (asociaciones, cooperativas) y no formales (colectivos ciudadanos), instituciones públicas y privadas, así como actores individuales. Todos los participantes compartían una relación directa o indirecta con el centro histórico, lo que permitió capturar perspectivas multidisciplinares y garantizar la representatividad de los intereses involucrados.

Este enfoque participativo fue complejo y retador, debido a los múltiples intereses y la variedad de narrativas emergentes, las cuales reflejaban sentimientos, memorias, recuerdos, experiencias y expectativas asociadas al espacio urbano central de la ciudad. Numerosos estudios como los de Li et al. [12]; Loukaitou-Sideris y Ehrenfeucht [13]; Battisti y Cimini [14]; Piscitelli [15]; Lee [16]; Park, Kang y Shin [17] y Castro-Noblejas et al. [18] destacan la importancia de la participación comunitaria en la regeneración de los centros históricos, para garantizar su sostenibilidad, así como los efectos negativos de no contar con ella.

Sin embargo, estos estudios se centran principalmente en procesos participativos aplicados a centros históricos ya consolidados como concepto, donde si bien hubo procesos de consulta, no necesariamente existió una construcción social previa. A diferencia de estos casos, este proyecto busca que la construcción del centro histórico de Liberia sea un proceso participativo genuino, desarrollado por y para la propia comunidad, no impuesto desde fuera, por la institucionalidad (Collins & Ison, 2006).

En este contexto, la construcción social de la idea de Centro Histórico en Liberia parte de la construcción de la visión compartida que sintetiza las expectativas de diferentes sectores. Para lograrlo se diseñó una serie de actividades que permitieron exponer y articular estos múltiples intereses, con el objetivo de identificar puntos comunes y consensos, como se muestra en la figura 2.

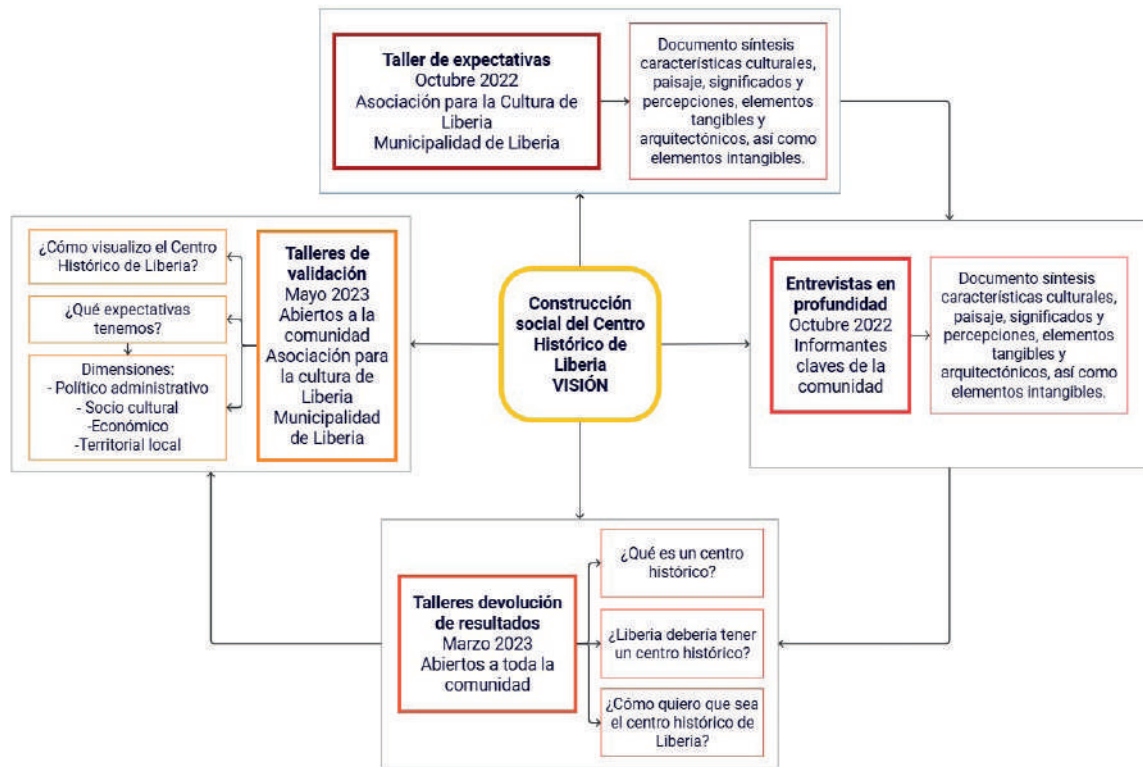


Figura 2. Esquema metodológico para la construcción de la visión.

Talleres de expectativas

El proceso inició con talleres dirigidos a personas funcionarias de distintos departamentos de la Municipalidad de Liberia y a integrantes de la Asociación para la Cultura de Liberia, como los principales socios del proyecto. El taller se realizó en dos sesiones, desarrolladas el 6 y 7 de octubre, con la participación de 17 asistentes como se muestra en la figura 3.

Mediante preguntas orientadoras, cada participante respondió individualmente en notas adhesivas, que luego se agruparon en papelógrafos según su similitud. En la sesión plenaria, se analizaron las respuesta y agrupaciones, identificando puntos convergentes y divergentes.

Para la sistematización se utilizó la aplicación MIRO, que permitió elaborar un documento síntesis para el siguiente taller. Este documento integró aspectos como: características culturales, paisaje, significados y percepciones, elementos tangibles y arquitectónicos, así como elementos intangibles.



Figura 3. Fotografías de los Talleres de expectativas.

Entrevistas en profundidad:

Con base en los resultados de los talleres iniciales, el trabajo de campo y la revisión de fuentes digitales, se identificaron informantes clave de la comunidad asociados a la cultura. Los días 27 y 28 de octubre de 2022 se realizaron y grabaron entrevistas semiestructuradas (previa firma de consentimiento informado) a 13 personas, cuyos contenidos fueron transcritos, analizados y sistematizados para genera insumos para el siguiente taller. En la figura 4 se muestra a 6 participantes.



Figura 4. Fotografías de las personas entrevistadas.

Talleres de devolución de resultados

Se convocó a toda la comunidad a un taller de devolución de resultados, que se realizó en dos sesiones en horarios diferentes para facilitar la participación, donde todas las personas fueron bienvenidas y representaban de alguna manera a diferentes sectores. Estos talleres se realizaron en la Antigua Gobernación de Liberia los días 21 y 22 de marzo de 2023, con la participación de 42 personas, como se muestran en la figura 5.

Los participantes, organizados en grupos, recibieron un documento síntesis de los talleres previos y las entrevistas. Cada grupo discutió los contenidos y respondió a tres preguntas clave:

1. Para usted ¿Qué es un centro histórico?
2. ¿Quiero un centro histórico en Liberia? ¿Liberia debería tener un centro histórico? ¿sí o no? ¿por qué?
3. ¿Cómo quiero que sea el centro histórico de Liberia?

En plenaria, se expusieron las respuestas, haciendo visibles esos múltiples intereses, expectativas y perspectivas. Toda la información fue sistematizada en nuevo documento que recogió esta diversidad de opiniones.



Figura 5. Fotografías del Talleres de devolución de resultados.

Talleres de validación

Se invitó a todas personas que habían participado en las actividades anteriores y a nuevos interesados mediante convocatoria abierta a toda la comunidad. Se realizaron dos sesiones en horarios diferentes para facilitar la participación los días 9 y 10 de mayo de 2023, participaron 15 personas, como se muestra en la figura 6.

Durante las sesiones, se analizó exhaustivamente el documento de sistematización, revisando cada respuesta a las tres preguntas planteadas en el taller previo. El equipo extensionista registró y sistematizó todas las discusiones, observaciones y reflexiones generadas.

Este proceso participativo facilitó un diálogo de saberes que permitió:

- a. Construir colectivamente que es un centro histórico, como concepto.
- b. Generar una visión compartida del futuro de centro histórico.
- c. Redactar colaborativamente la “Visión para el Centro Histórico de Liberia”.

La versión final de la visión fue enviada a todos los participantes para su revisión final.



Figura 6. Fotografías de los Talleres de validación.

Resultados

Como resultado del proceso participativo de construcción social con la Asociación para la Cultura de Liberia, la Municipalidad de Liberia, el Instituto Tecnológico de Costa Rica y la comunidad liberiana, en el que participaron más de setenta personas, se redactó la siguiente Visión para el Centro Histórico de Liberia:

- El centro histórico de Liberia es un lugar vivo, un espacio, una construcción social, una red de diversos elementos materiales, inmateriales y paisajísticos del cantón de Liberia, donde se comparte, aprende, produce y transmite la cultura, las identidades, las idiosincrasias y la historia de su pueblo, con posicionamiento a escala local, regional, nacional y mundial.
- El centro histórico de Liberia tiene como propósitos la conservación, protección, salvaguarda y promoción de su ciudad y sus paisajes como eje socioeconómico central, creando sentido de pertenencia y arraigo, generando beneficios sociales y encadenamientos productivos-económicos para toda su población.
- Éste requiere trabajo colectivo y organizado para su gestión, divulgación, información y comunicación, potenciando las relaciones entre actores claves y estratégicos, públicos, privados y sociedad civil, así como la mejora de la vinculación y coordinación interinstitucional [20]

Adicionalmente las expectativas fueron organizadas en dimensiones, generando los primeros lineamientos generales para su gestión:



Político organizativo

- Un espacio de diálogo que materializa alianzas, para integrar actores sociales comprometidos y responsables con intereses comunes.
- Con una gestión descentralizada que integra diferentes visiones sociales y políticas, planificada, sistemática, regulada con criterios técnicos y científicos; inclusiva, equitativa y para el bien común.
- Cuenta con mecanismos e instrumentos de gestión e institucionalización con criterios de sostenibilidad económica, ambiental y sociocultural, con una hoja de ruta con metas a corto, mediano y largo plazo.
- La toma y ejecución de decisiones se realiza por medio de procesos participativos sin distinciones de ningún tipo, por ejemplo, sociales, de etnia, etaria, de género, económicas y políticas, entre otras.
- La gestión de la seguridad se lleva a cabo de manera integral por parte de organizaciones gubernamentales, gobierno local y actores sociales estratégicos.

Socio cultural

- Con espacios públicos a escala humana, en donde toda intervención responde a criterios de conectividad, sostenibilidad, inclusividad y seguridad, que sean habitables, vivos, que permitan la realización de actividades socioculturales para todas las personas.
- Espacios públicos que fomentan el conocimiento/reconocimiento, valoración y apropiación sociocultural e histórica para el uso, ocio y recreación de todas las personas.
- Promueve la conservación y preservación del patrimonio sociocultural, histórico y arquitectónico para su uso, conocimiento/reconocimiento, valoración y apropiación.
- Contempla procesos de investigación, documentación, capacitación, sensibilización, comunicación, difusión y vinculación rigurosa, crítica y propositiva.-

Económico

- Con políticas y regulaciones que establecen incentivos para facilitar la apropiación del espacio público, la posesión y permanencia de la población en los espacios privados, y desincentivos para evitar la gentrificación, abandono, desocupación, desposesión y sus efectos no deseados.
- Fomenta encadenamientos productivos que valoran positivamente las identidades locales, como por ejemplo la denominación de origen, sin que se produzcan procesos de mercantilización y banalización.

Territorial/local

- El centro histórico debe tener una vinculación e integración con los diferentes paisajes locales, cantonales, regionales para el bien común y con criterios de sostenibilidad.

Conclusiones

En este proceso, la universidad pública, a través del equipo extensionista, cumplió un rol de facilitación y mediación entre los múltiples intereses para identificar puntos convergentes y buscar consensos. La tarea no fue sencilla: el enfoque tradicional de conservación patrimonial —asociado a la idea negativa de los centros históricos como espacios detenidos en el tiempo— se contraponen a las dinámicas actuales, donde la cultura se politiza, las necesidades

socioeconómicas permanecen insatisfechas, los modelos de gobernanza cambian y la tecnología digital transforma los modos de informarse. Estos factores generan narrativas diversas y, en ocasiones, contradictorias [21].

El proceso se centró en los valores sociales más que en los patrimoniales, con el fin último de lograr una gestión sostenible del Centro Histórico de Liberia. Este se concibe como un proyecto que aporta a la conservación desde una perspectiva contemporánea.

Tanrikul [22], en su análisis comparativo de casos, evidencia que, si bien el valor metodológico de los procesos participativos constituye mecanismo valiosos y necesarios, estos enfrentan cuatro desafíos recurrentes: (1) desconfianza intergrupal, (2) barreras comunicativas de base cultural, (3) asimetrías en el acceso a la información y (4) escasa cohesión social. Aunque estos hallazgos proceden del estudio de proyectos de regeneración de centros históricos con objetivos predefinidos en un contexto mediterráneo, su recurrencia trasciende especificidades geográficas. En Liberia se manifestaron esos retos, que enriquecieron los resultados, en tres dimensiones medulares que a continuación se puntualizan:

- 1. El enfoque participativo reveló narrativas ocultas:** Detrás de cada comentario surgía una narrativa más amplia, que trasciende lo explícito y permite entender cómo se construyen identidades, memorias y experiencias en el espacio-tiempo. Estas narrativas no siempre coinciden con las dominantes, pero coexisten con ellas. La interacción con grupos diversos confirmó que el concepto de “centro histórico” es una construcción social en constante evolución, que varía entre comunidades. Por ello, no debe ser una imposición política o académica, sino un reflejo de la complejidad de un espacio urbano donde convergen múltiples y variados intereses.
- 2. El consenso deseado vs. la complejidad práctica:** Si bien es fácil coincidir en que todas las personas aspiran a un mejor lugar para vivir —donde puedan opinar, ser escuchadas y participar, con oportunidades socioeconómicas que no sacrifiquen su identidad—, el desafío radica en cómo se interpretan estos aspectos individualmente y cómo se trasladan al plano colectivo. El verdadero reto es construir redes que transformen aprendizajes sociales en acuerdos duraderos: cómo el “yo” con sus expectativas particulares logra consensuar con “el otro” para formar un “nosotros” que respete la diversidad y participe activamente en proyectos que benefician a la mayoría.
- 3. El contexto específico de Liberia:** La fuerte identidad guanacasteca, aún ligada a la figura del sabanero, puede obstaculizar relaciones horizontales, especialmente cuando se cuestiona el lugar de nacimiento o el estatus socioeconómico de las personas. Es prioritario fomentar la cohesión social, el trabajo colectivo y una cultura de participación que priorice relaciones colaborativas, integrando diversas perspectivas en la configuración del espacio físico y las narrativas culturales de Liberia.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica. A las personas extensionistas y estudiantes asistentes de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Ciencias Sociales y Escuela de Ingeniería en Computación del Centro Académico de Alajuela, que son parte del proyecto de extensión “La construcción social del Centro Histórico de Liberia como un insumo para su gestión sostenible” particularmente a Jesús Molina Zúñiga, Jean Marco Rojas Umaña y Francisco Javier Mojica Mendieta por las fotografías.



Referencias

- [1] E. Solano Muñoz, "La Ciudad Blanca: apuntes para una historia de Liberia," *Inter Sedes*, vol. VII, no. 13, pp. 171–188, 2007.
- [2] J. M. Figueroa Oreamuno, "Mapa de Liberia en el año 1870," *Archivo Nacional de Costa Rica, Álbum de Figueroa*, JMFIGOR-ALBUM-000001-001-1-061f.
- [3] D. Chang-Albizurez and R. E. Malavassi-Aguilar, "Chapter 30 The Historic District of Liberia, Costa Rica: a community-based project," in *Urban Futures - Cultural Pasts AMPS Proceedings Series 40.3*, R. Isaac-Menard, G. Cairns, P. Fuertes, J. Kuzmanic, F. López, T. Masseck, M. Palumbo, M. Serra, and A. Sotoca, Eds., Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2024, pp. 309–321.
- [4] D. Chang Albizurez, R. E. Malavassi Aguilar, and F. Mojica Mendieta, "Diagnóstico urbano patrimonial. Proyecto de extensión: Línea base para la gestión sostenible del Centro Histórico de Liberia," San José, Costa Rica, 2022.
- [5] Costa Rica, "Municipalidad de Liberia," *La Gaceta Diario Oficial*, vol. CXXIX, no. 239, pp. 1–2, Nov. 2007, [Online]. Available: https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2005/11/30/REMU_30_11_2007.pdf.
- [6] S. Thomson and A. Franklin, "Ardagh Community Trust: transgressing boundaries, asserting community," *Architecture MPS* 25, vol. 25, no. 1, 2023, doi: <https://doi.org/10.14324/111.444.amps.2023v25i1.003>.
- [7] C. A. Castaño-Aguirre, P. Baracaldo-Silva, A. M. Bravo-Arcos, J. S. Arbeláez-Caro, J. Ocampo-Fernández, and O. L. Pineda-López, "Territory and Territorialization: A Look at the Emotional Link to the Inhabited Place Through Social Cartography," *Revista Guillermo de Ockham*, vol. 9, no. 2, pp. 201–217, 2021, doi: <https://doi.org/10.21500/22563202.5296>.
- [8] M. Pastor Coello, "Evolución socioeconómica en centros históricos españoles.," in *XVI Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*, G. de R. en U. U. P. de Catalunya. I. D. P. Universitat Politècnica de Catalunya, Ed., doi: <https://doi.org/10.5821/siiu.12916>.
- [9] P. Ş. Körmeçli, "Understanding the Historic Center by Using Network Analysis with Mental Mapping Method: The Case Study of Amasra, Turkey," *Sustainability*, vol. 6, no. 13, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/su16135387>.
- [10] S. Arnstein, "A ladder of citizen participation," *Jornal of the American Institute of Planners*, vol. 35, no. 4, pp. 216–224, 1969, doi: <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>.
- [11] W. Voorberg, V. Bekkers, and L. Tummers, "A Systematic Review of Co-Creation and Co-Production: Embarking on the social innovation journey," *Public Management Review*, vol. 17, no. 9, pp. 1333–1357, 2014, doi: <https://doi.org/10.1080/14719037.2014.930505>.
- [12] J. Li, S. Krishnamurthy, A. Pereira Roders, and P. van Wesemael, "Community participation in cultural heritage management: A systematic literature review comparing Chinese and international practices.," *Cities*, vol. 96, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102476>.
- [13] A. Loukaitou-Sideris and R. Ehrenfeucht, *Sidewalks: Conflict and Negotiation over Public Space*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 2009. doi: <https://doi.org/10.7551/mitpress/7423.001.0001>.
- [14] A. Battisti and S. Cimini, "The Regeneration of Historical Small Town Centers: A Methodology for Participatory Action," *BDC. Bollettino Del Centro Calza Bini*, vol. 15, no. 2, pp. 343–358, 2015, doi: <https://doi.org/10.6092/2284-4732/4067>.
- [15] C. Piscitelli, "Participation and Integrated Cultural Territorial Plans," in *Cultural Territorial Systems*. Springer Geography. Springer, Cham., F. Rotondo, F. Selicato, V. Marín, and J. López Galdeano, Eds., 2016, pp. 121–132. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20753-7_12.
- [16] S. Lee, "Community-centred sustainable heritage management," in *Routledge Handbook of Sustainable Heritage*, K. Fouseki, M. Cassar, G. Dreyfuss, and K. Ang Kah Eng, Eds., Routledge, 2022, ch. 9. doi: <https://doi.org/10.4324/9781003038955-12>.
- [17] E. J. Park, E. Kang, and Y. Shin, "Urban regeneration and community participation: a critical review of project-based research.," *Open House International*, vol. ahead-of-print, no. ahead-of-print, 2025, doi: <https://doi.org/10.1108/OHI-04-2024-0127>.
- [18] H. Castro-Noblejas, J. F. Sortino-Barrionuevo, and S. Reyes-Corredera, "Gentrification process of a degraded space turned into a cultural showcase. The case of the Historic Center of Malaga," *Revista de Estudios Andaluces*, vol. 43, pp. 8–31, 2022, doi: <https://dx.doi.org/10.12795/rea.2022.i43.01>.
- [19] K. Collins and R. Ison, "Dare we jump oñ Arnstein's ladder? Social learning as a new policy paradigm.," in *Proceedings of PATH (Participatory Approaches in Science & Technology, Edinburgh, 2006*. Accessed:

May 06, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/42793728_Dare_we_Jump_off_Arnstein's_Ladder_Social_Learning_as_a_New_Policy_Paradigm

- [20] R. E. Malavassi-Aguilar, D. Chang-Albizurez, M. Guevara Murillo, and F. Mojica Mendieta, "Visión del Centro Histórico de Liberia. Resultados de los talleres participativos para su construcción.," San José, Costa Rica, manuscrito inédito, 2023.
- [21] E. Avrami, R. Mason, and M. de la Torre, Values and Heritage Conservation: Research Report. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, 2000. Accessed: Mar. 30, 2025. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/values_heritage_research_report
- [22] A. Tanrikul, "The Role of Community Participation and Social Inclusion in Successful Historic City Center Regeneration in the Mediterranean Region," *Sustainability*, vol. 15, no. 9, p. 7723, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/su15097723>.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Para la identificación de fuentes bibliográficas se utilizó la herramienta de inteligencia artificial *SciSpace*. Esta herramienta nos permitió identificar artículos recientes, relevantes y pertinentes a este artículo. Nos aseguramos de revisar personalmente cada uno de los artículos que citamos en este documento.

Para la revisión gramatical y ortográfica de este artículo, empleamos la herramienta de inteligencia artificial *DeepSeek*. Esta nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, las sugerencias de mejora fueron analizadas, revisadas y complementadas por las autoras, de manera que se garantice que el artículo cumple con los estándares de calidad de la revista. No se utilizó para la generación de texto.

Herramientas SIG para la prospección urbana. Simulaciones dirigidas a la revitalización del Centro Histórico de San José en el marco del Proyecto San José RISE

GIS tools for urban prospecting. Simulations aimed at revitalizing San José's historic downtown as part of the San José RISE Project

Mauricio Guevara-Murillo¹, Tomás Martínez-Baldares²

Guevara-Murillo, M; Martínez-Baldares, T. Herramientas SIG para la prospección urbana. Simulaciones dirigidas a la revitalización del Centro Histórico de San José en el marco del proyecto San José RISE. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 140-153.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8301>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 mauguevara@tec.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-0884-9231>

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 tmartinez@tec.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-7467-4356>



Palabras clave

SIG; diagnóstico urbano; rehabilitación urbana; prospección urbana; toma de decisiones; método de escenarios; planificación urbana.

Resumen

Los sistemas de información geográfica han evolucionado para facilitar no solo los procesos de representación cartográfica sino para promover procesos de análisis y toma de decisiones más objetivos y eficientes. El uso de SIG en la planificación urbana en Costa Rica se encuentra en un proceso de crecimiento constante haciendo cada día más fácil acceder a información geográfica y a recursos tecnológicos para la administración y gestión de los territorios. Sin embargo, esta implementación no se encuentra estandarizada, cada proceso de planificación urbana depende directamente de las capacidades técnicas de las instituciones encargadas de la administración del territorio y a los datos disponibles en cada caso. En el marco del proyecto de investigación “Reactivación Inmobiliaria del Centro Histórico de San José a partir de Plataformas de financiamiento alternativas” (San José RISE), se realiza un diagnóstico urbano con el objeto de reconocer la situación del centro histórico de San José y poder definir un plan de acción para la rehabilitación inmobiliaria de su parque edificatorio. El presente artículo plantea difundir un proceso de planificación por escenarios desarrollado con los principales insumos levantados como resultado del diagnóstico urbano, mediante el uso de herramientas SIG, y que tuvo como objetivo identificar zonas y polígonos potenciales para concentrar los esfuerzos de rehabilitación y renovación urbana. Los ejercicios desarrollados, permitieron mapear diferentes zonas de interés de acuerdo con los objetivos y estrategias a priorizar. Si bien el uso de SIG y geo procesos automáticos facultan estandarizar y objetivar los resultados, se concluye que el criterio de experto es fundamental al momento de definir las variables en el proceso de análisis. Por tanto, si bien se puede establecer una metodología de trabajo, el resultado final dependerá de tanto de criterios cuantitativos soportados por el SIG como por elementos cualitativos que deben ser valorados por los expertos y técnicos en el área.

Keywords

GIS tools; urban assessment; urban revitalizing; urban prospecting; decision-making; scenario method; urban planning.

Abstract

Geographic information systems have evolved to facilitate cartographic representation processes and promote more objective and efficient analysis and decision-making processes. The use of GIS in Costa Rica’s urban planning is constantly growing, making it increasingly easier to access geographic information for territorial administration and management. However, this implementation is not standardized; each urban planning process depends directly on the technical capabilities of the institutions responsible for territorial administration and the data available in each case. As part of the research project “Real Estate Reactivation of the Historic Center of San José through Alternative Financing Platforms” (San José RISE), an urban assessment is being conducted to assess the current situation of San José’s historic center and define an action plan for the real estate rehabilitation of its building stock. This article proposes disseminating a scenario planning process developed using GIS tools, based on primary inputs gathered during the urban assessment. The objective was to identify potential zones and polygons for concentrating urban rehabilitation efforts. The exercises developed allowed mapping different areas of interest according to the priorities in objectives and strategies. While

the use of GIS and automated geoprocessing enables the standardization and objectification of results, it is concluded that expert judgment is essential when defining variables in the analysis process. Therefore, although a working methodology has been established, the result will depend on both quantitative criteria supported by the GIS and qualitative elements that experts and technicians must assess.

Introducción

De acuerdo con ONU hábitat, para el 2050, cerca del 60% de la población mundial va a residir en asentamientos urbanos [1], de forma paralela en los últimos años se ha experimentado un crecimiento acelerado en el desarrollo de tecnologías de información y telecomunicación y su aplicación en múltiples campos del desarrollo humano.

En el caso específico de Costa Rica entre 1984 y el 2022 el porcentaje de población urbana pasó de 50% a 80% [2] demostrando un proceso acelerado de urbanización. Según datos del último censo, la población de los cuatro distritos centrales: El Carmen, Merced, Hospital y Catedral, se redujo de 97.619 habitantes, en 1963, a 58.537 habitantes en 2022. Dada la velocidad y extensión de esta población urbana, se hace pertinente el desarrollo y aplicación de metodologías para la identificación de patrones de crecimiento y definición de estrategias que permitan dar tratamiento desde las políticas públicas a los diferentes contextos.

Aunado a la pérdida de población, se evidencia un proceso de desocupación y subutilización de la edificación, tras causas estructurales como la partida de usos y edificaciones importantes ocupados en algún momento por ministerios, instituciones autónomas, embajadas, la Bolsa de Valores y hasta la Municipalidad de San José, que desplazan sus sedes fuera de esta área debilitando su condición de referente institucional y su centralidad [3]. El surgimiento de nuevas centralidades comerciales o nodos temáticos como ofiencentros y centros comerciales, así como la habilitación dispersa de suelos en la GAM ha debilitado el rol protagónico de los cuatro distritos centrales de San José. A pesar de esto dentro del Centro Histórico se encuentran 79 inmuebles declarados por el Ministerio de Cultura y Juventud como bienes patrimoniales o de interés cultural. Con ayuda de herramientas SIG, es posible identificar procesos históricos y tendencias de desarrollo y ocupación urbana y también modelarse escenarios de desarrollo futuro.

Para el caso concreto de la planificación urbana, el desarrollo de los sistemas de información geográfica y el Big Data ha revolucionado los procesos de recopilación de información, análisis de datos y toma de decisiones; en la actualidad es posible identificar el uso de SIG para la definición de la aptitud de suelo agrícola [4], la identificación de zonas o áreas críticas frente al cambio climático [5] identificación de áreas de riesgo [6], [7] e identificación de áreas de expansión urbana [1] por mencionar algunos casos particulares. A pesar de ello, la aplicación de tecnologías SIG y de análisis de datos en Costa Rica es un proceso incipiente que responde a las capacidades técnicas y tecnológicas de los diferentes entes involucrados en la gestión y administración del territorio.

En los últimos dos años se ha experimentado una expansión y desarrollo de la Inteligencia Artificial como un recurso que aparentemente podría reemplazar el trabajo de los planificadores urbanos mediante el uso y análisis de algoritmos automatizados. Sin embargo, este desarrollo puede ser una herramienta de gran valor para el trabajo de urbanistas, posibilitando el procesamiento de grandes cantidades de datos en poco tiempo, identificando patrones de desarrollo y generando simulaciones. No obstante, este trabajo debe ser dirigido y conducido por la capacidad analítica del ser humano bajo el aprovechamiento de su experiencia, comprensión del contexto y creatividad para la toma de decisiones. De allí que el SIG acelere el procesamiento de datos permitiendo valorar la incidencia de las diferentes variables de manera

ágil o de implementar procesos de álgebra de mapas. El SIG permite justamente procesar y cartografiar datos y aplicar anticipación de patrones, información suficiente para mitigar los riesgos, controlar tendencias y orientar el desarrollo [8].

En el marco del proyecto de investigación “Reactivación Inmobiliaria del Centro Histórico de San José a partir de Plataformas de financiamiento alternativas”(2022-2025) y como parte del proceso de análisis y delimitación de la propuesta urbana para la rehabilitación urbana, se establece una estrategia de trabajo para identificar de manera objetiva como las características del territorio pueden generar escenarios de rehabilitación física de la ciudad de acuerdo con las diferentes metas u objetivos de recuperación urbana. El proceso de diagnóstico urbano es un importante antecedente para generar las estrategias y tácticas de desarrollo, sin embargo, la presente comunicación sistematiza una estrategia que permite mediante el uso de herramientas de sistemas de información geográfica, el cruce de la información del diagnóstico, para identificar escenarios de intervención de una forma objetiva y automatizada.

Este ejercicio se centra en la necesidad de sistematizar y justificar de una forma más técnica la toma de decisiones al momento de priorizar las áreas de intervención de forma que se responda no sólo a las problemáticas de lugar sino a otros factores relacionados con disponibilidad de servicios, potencial de desarrollo, costo de la inversión, economías de escalas, normativa, consecuencia con un modelo de desarrollo en particular y tipo de intervención.

En general, la normativa vigente en el papel establece una serie de elementos mínimos que deben contener los instrumentos de planificación urbana y establece también metodologías para el desarrollo de proyectos puntuales, sin embargo, el ejercicio realizado busca demostrar una estrategia para generar estos procesos de una forma más objetiva. Es importante señalar que el ejercicio no pretende generalizar una metodología para todos los procesos de recuperación urbana, pero si lograr establecer el potencial de la implementación de las herramientas de sistemas de información geográfica en estos procesos.

En este caso en particular, se persigue analizar las potencialidades del uso de procesos estandarizados para la delimitación de áreas de interés de forma objetiva, buscando un proceso que faculte el análisis de datos más allá de una valoración cualitativa de los resultados del diagnóstico urbano. En síntesis, el ejercicio realizado se propone identificar ¿cómo el uso de herramientas SIG facultan la delimitación de zonas de intervención para la rehabilitación urbana del Centro Histórico de San José, considerando los resultados del diagnóstico urbano y los objetivos de inversión?

Por otro lado, el resultado del ejercicio viene a establecer una base de conocimiento para articular la propuesta de rehabilitación urbana, y particularmente permitirá definir una estrategia metodológica futura para extender la propuesta de recuperación urbana al resto de zonas del centro histórico de San José y sus ensanches, que han quedado fuera de la delimitación de la zona de estudio del proyecto de investigación.

Las ciudades también acumulan complejidades a través del tiempo lo que hace necesario repensar morfológicamente la ciudad y por ende proyectar sus posibles escenarios orgánicos, tendenciales, ideales y el factible. Las metrópolis no se pueden entender como elementos continuos y mono céntricos, como exponían los modelos teóricos de hace unos cuantos años, pero sí que continúa vigente la necesidad de buscar el equilibrio entre actividades económicas y zonas residenciales. Reducir las distancias entre los diferentes polos económicos y sociales es la única manera de minimizar el coste ambiental de la ciudad construida.

El concepto teórico de la ciudad de los 15 minutos, es decir, que todo ciudadano pueda realizar todas las actividades diarias desplazándose un máximo de 15 minutos, va en esta línea. En este sentido, la planificación de nuevos sectores urbanos ha de tener en cuenta la mixtura de

usos. Garantizar sectores bien conectados, asegurar un aprovisionamiento logístico sostenible, reducir la marginación espacial, hacer los barrios más habitables, apostar por una proporción más grande de verde dentro de la ciudad, incrementar la autosuficiencia energética y de recursos, o aproximar los sectores de producción y agrícolas serán también necesarios para el logro de unos umbrales de desarrollo más sostenible [9].

Materiales y métodos

Delimitación del área de estudio

Desde la génesis del proyecto de investigación se sentó como meta iniciar el proceso del proyecto en el sector del Centro Histórico de San José que se corresponde con los distritos Catedral y el Carmen, esto considerando que por las delimitaciones del proyecto no iba a ser posible abordar toda el área del Centro Histórico de San José. Sin embargo, la delimitación final de la zona de estudio se modificó para incluir de forma completa los barrios del sector y al mismo tiempo incluir la zona de influencia del Campus Tecnológico local de San José del Tecnológico de Costa Rica. Ver Figura 1.

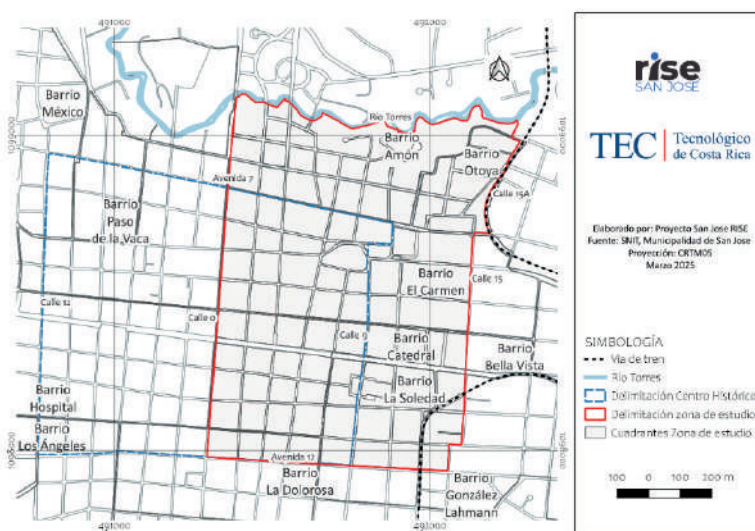


Figura 1. Representación cartográfica de la delimitación del Centro Histórico de San José y zona de estudio para el proyecto San José RISE.

Recopilación de datos

Para el desarrollo del ejercicio se utilizó la información recopilada por el equipo de investigación durante la primera fase del proyecto que correspondió al diagnóstico urbano. El diagnóstico se sustentó en un proceso de revisión de literatura y trabajo de campo para la recopilación de información.

Como resultado del proceso de diagnóstico se generó información geoespacial que reseñaba el estado de la edificación, niveles, ocupación, usos, y la geometría predial, esta última permitió además determinar el área predial y estimar el área construida en cada caso.

Adicionalmente se recopilaron datos del plan regulador, incluyendo delimitación de usos de suelo, zonas homogéneas (precio del suelo). De igual forma se generó información que permitiera focalizar en el territorio amenidades, servicios y otros elementos que resultaran

significativos para la atracción de la inversión. Toda esta información se procesó y almacenó utilizando el software de escritorio de QGIS, para generar archivos shape en formato vectorial. El detalle de los archivos generados se puede observar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Listado de archivos e información compilada como resultado del proceso de diagnóstico.

Archivo	Tipo de archivo	Información contenida
Delimitación predial de la zona de estudio	Archivo en formato shape con geometría de polígonos	Geometría predial Estado de la edificación Uso Actual Niveles de la edificación Área de predio
Zonas del plan regulador	Archivo en formato shape, que delimita las zonas definidas en el plan regulador	Delimitación de zonas de desarrollo urbano establecidas por el municipio.
Zonas homogéneas	Archivo en formato shape que delimita las zonas homogéneas	Valores de suelo en el territorio en estudio.
Amenidades o servicios urbanos	Archivo en formato shape con geometría de puntos que localiza servicios o amenidades urbanas de interés.	Localización de servicios urbanos prioritarios, salud, educación, áreas de esparcimiento, servicios de conveniencia.

Definición de variables de interés

Para el desarrollo del ejercicio se inició por definir las variables de interés para el análisis, dado que la meta era el mapeo de zonas para la intervención se empezó por seleccionar dentro de la información disponible del diagnóstico aquella que pudiera incidir en las decisiones sobre la concentración de la inversión inmobiliaria y los incentivos municipales, por ello se consideró la información de estado de la edificación, altura de las edificaciones, nivel de ocupación, área de los predios. Con cada uno de estos datos se generó un archivo ráster que permitiera asignar valores particulares a los predios para posteriormente realizar un ejercicio de ponderación.

Adicionalmente se generó un archivo de zonas servidas, el cual se concentró en identificar las zonas mejor cubiertas de acuerdo con la cercanía de servicios. De forma similar, se establecieron zonas de atracción estratégica localizando, dentro del área de estudio, aquellos puntos que pudieran atraer más población, lo anterior considerando que el objeto de la propuesta de rehabilitación urbana se centra en procesos de repoblamiento y atracción de nuevos residentes.

Preparación de material para el desarrollo de cálculos

Se seleccionó el software de escritorio de QGIS como la herramienta idónea para el desarrollo del ejercicio de prospección dado que es un software de acceso y uso libre. Se identificó como herramienta más accesible la calculadora ráster, con lo cual fue necesario rasterizar la información disponible en los archivos de formato vectorial.

Para la preparación del material, se recopiló la información levantada en la capa con las geometrías de los predios y se generó un archivo independiente para cada una de las variables de interés. A continuación, se describe el detalle de procesamiento de la información de cada una de las variables.

Área de construcción (AC): se toma como referencia el área de los predios y los niveles registrados y se calcula el área aproximada de construcción en cada predio. Posteriormente utilizando como base los valores referenciados en el cuadro 2, se asigna un valor al área de cada predio según el rango en el que se ubique. Mayor área de construcción tendrá un valor más alto dado que significa un mayor potencial para la implementación de unidades habitacionales.

Estado de la edificación (E1): Utilizando la misma capa de predios, se asignó un valor a cada predio según el estado de la edificación. También se tomó como referencia que, al tratarse de una estrategia de rehabilitación, predios en estado regular o bueno suponen una menor inversión y por tanto se asignan mejores valores a estos.

Ocupación (O): El mismo procedimiento se realizó para representar la ocupación de los edificios, en este caso se consideró que, a menor nivel de ocupación, mayor sería la necesidad de rehabilitar las edificaciones, por lo que edificaciones en desuso u ocupación parcial tendrían mejor puntuación que edificios totalmente ocupados.

Estado de la edificación (E2): Posteriormente se volvió a realizar el ejercicio para el estado de la edificación, pero dado que este sería utilizado para identificación de zonas para renovación urbana, se puntúan mejores lotes baldíos o en mal estado.

Predios servidos (S): Para predios servidos se tomó en consideración el rango de cercanía a diferentes equipamientos y amenidades. Según se observa en los cuadros 2 y 3, se establecieron tres niveles de cercanía a 50m, 150m y 250m. Sin embargo, es importante indicar que se incluyen pues es una variable de interés, aunque por la extensión de la zona de estudio su impacto es casi despreciable, pues rangos aceptables son los 500m y se cumplen para toda el área de estudio.

Área de predios (AP): Por último, se establece una puntuación según el área de predios, pues se identificó un potencial para aplicar estrategias de reajustes de suelo por una degradación del plantel edificatorio y una subdivisión predial con poca capacidad de desarrollo. Contrario al ejercicio de puntuación del área construida, se valoró más alto a los lotes más pequeños.

La figura 2 muestra a detalle el resultado del procesamiento de cada una de las variables utilizadas.

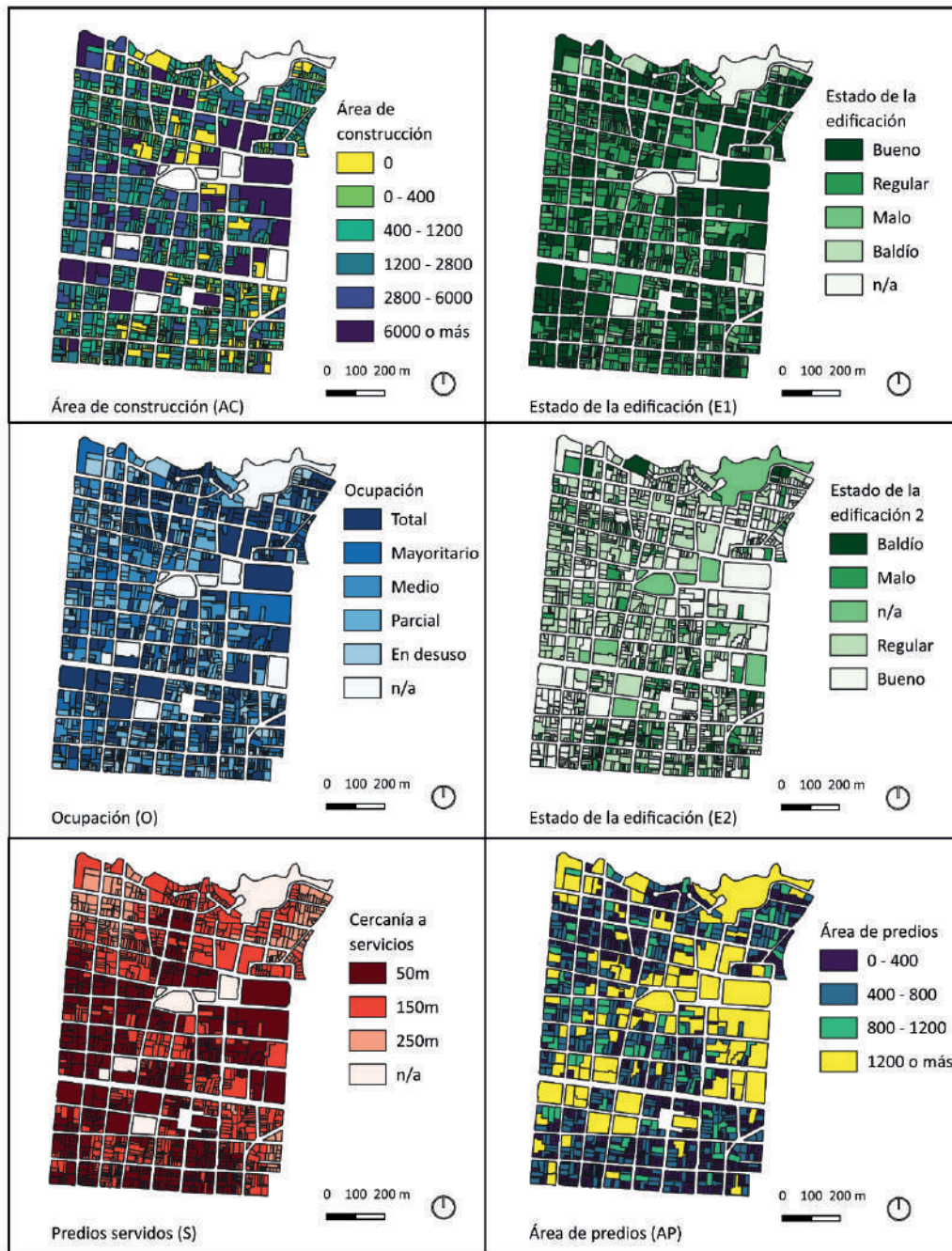


Figura 2. Resultado del proceso de clasificación y puntuación del área en estudio según cada una de las variables definidas.

Una vez se asignó a cada predio su valor según los criterios definidos, se procedió a rasterizar la información para realizar el cálculo ponderado y el mapeo de zonas prioritarias para cada una de las intervenciones. Para la definición de las zonas prioritarias, se partió de una suma simple de las variables, la cual se contrastó con un cálculo ponderado, el cual asignó un peso a cada variable utilizando el criterio de experto de los investigadores del proyecto SJ RISE.

Cálculo de áreas prioritarias para la rehabilitación

Con toda la información procesada, se procedió a establecer un geo proceso con las capas disponibles, que permitiera cruzar la información y generar manchas de interés según las puntuaciones obtenidas.

Para el desarrollo del ejercicio se generó una fórmula de agregación de variables que no respondió a una suma lineal de las mismas sino a una ponderación según el impacto que cada variable tiene sobre la estrategia del territorio.

La ponderación se realizó utilizando criterio de experto de los investigadores y considerando el modelo de desarrollo urbano detrás de la génesis del proyecto, así como los intereses de intervención.

Para el ejercicio se desarrollaron dos simulaciones distintas, considerando la meta prevista. En los cuadros 2 y 3, se sintetizan los elementos que se consideraron al delimitar las zonas potenciales de desarrollo según los escenarios de rehabilitación.

Cuadro 2. Criterios utilizados para la ponderación de variables para cálculo de escenario de rehabilitación urbana.

Alcance	Modelo	Variables	Valores asignados		Ponderación y cálculo
Rehabilitación de edificaciones	Coliving o Cohousing	Área de construcción (AC)	0-400	1	$REH = 0.4(AC) + 0.25(E1) + 0.3(O) + 0.05(S)$
			400-1200	2	
			1200-2800	3	
			2800-6000	4	
			6000 o más	5	
		Estado de la edificación (E1)	Bueno	2	
			Regular	1	
			Malo	-1	
			Baldío	0	
			N/a	0	
		Ocupación (O)	Total	0	
			Mayoritario	1	
			Medio	2	
			Parcial	3	
			Desuso	4	
		Predios servidos (S)	0-50m	3	
			50-150m	2	
150-250m	1				

Cuadro 3 Criterios utilizados para la ponderación de variables para cálculo de escenario de renovación urbana

Alcance	Modelo	Variables	Valores asignados		Ponderación y cálculo
Renovación de edificaciones	Ajuste de terrenos, Coliving, Cohousing, Coworking y Coparking	Área de predio (AP)	0-400m	3	REN = 0.4(AC) + 0.25(E2) + 0.3(O) + 0.05(S)
			400-800m	2	
			800-1200m	1	
			1200 o más	0	
		Estado de la edificación (E2)	Bueno	-1	
			Regular	0	
			Malo	1	
			Baldío	2	
		Ocupación (O)	n/a	0	
			Total	0	
			Mayoritario	1	
			Medio	2	
			Parcial	3	
		Predios servidos (S)	Desuso	4	
			0-50m	3	
			50-150m	2	
		150-250m	1		

Al final se genera una cartografía resumen que mapea las zonas calientes para la intervención según cada una de las metas o alcances previstos.

Resultados

La metodología empleada permite la identificación de macrozonas, lo que sustenta la base para las acciones de intervención. La metodología permite distinguir como de acuerdo con las características del territorio y el alcance de la intervención, las zonas se desplazan por el territorio.

Mapeo de zonas para la rehabilitación urbana

En la primera simulación se logran mapear áreas de interés para procesos de rehabilitación de las edificaciones, misma que se utiliza para mapear polígonos prioritarios para la intervención esto en respuesta a los intereses de la Municipalidad de San José por desarrollar un piloto y desencadenar la rehabilitación inmobiliaria.

Es importante señalar que como parte del proceso se realiza primero una zona simple para identificar la forma como se distribuyen las zonas con la mayor puntuación en todas las variables. Sin embargo, se procede a realizar el ejercicio de suma ponderada, según los criterios definidos y anteriormente descritos.

De primera entrada se identifica una macrozona hacia el centro de la zona de intervención, zona donde se ubican los predios más oscuros que corresponden a los mejor puntuados. Sumando a este resultado un análisis de las áreas destacadas, e identificando la existencia de algunas edificaciones propiedad del estado, se concluye la delimitación de los polígonos prioritarios para la intervención donde se materializa una mayor presencia de zonas oscuras. La figura 03, muestra el resultado del ejercicio de ponderación con la delimitación del área de mayor concentración y los polígonos para la rehabilitación urbana.

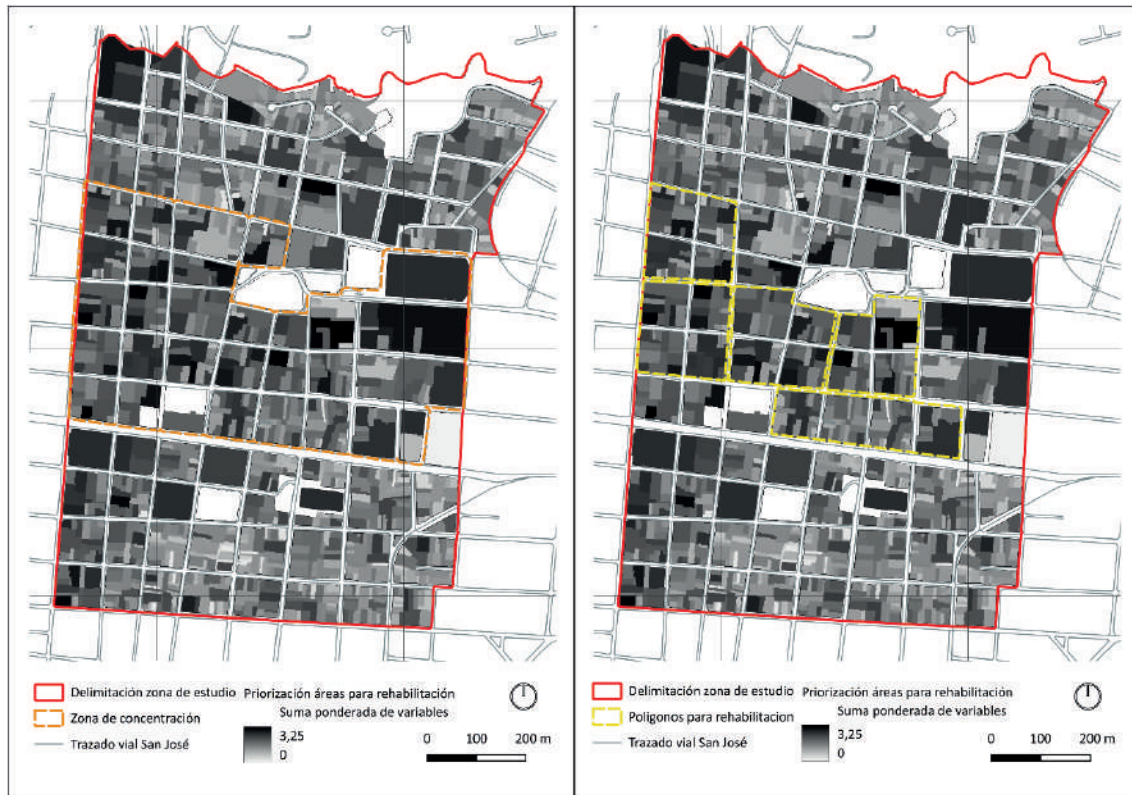


Figura 3. Resultado del proceso de mapeo de zonas prioritarias para el proceso de rehabilitación urbana.

La segunda simulación surge de la identificación de una importante degradación en el plantel edificatorio, mismo que supone una dificultad por impulsar estrategias de rehabilitación urbana dado el estado de la edificación o el potencial de aprovechamiento de la inversión. Por ello se hace un nuevo cálculo, pero en este caso para la identificación de zonas prioritarias para impulsar procesos de renovación urbana

Al igual que el ejercicio anterior se realiza una suma ponderada, según los pesos que se asignan a cada variable, es importante señalar que la puntuación del estado de la edificación no es la misma del ejercicio anterior.

Se identifica una concentración de predios con las características definidas hacia el sur de la zona de intervención, por lo que se procedió a identificar polígonos de renovación urbana en este sector. La figura 04, muestra el resultado del ejercicio de ponderación con la delimitación del área de mayor concentración y los polígonos para la renovación urbana.

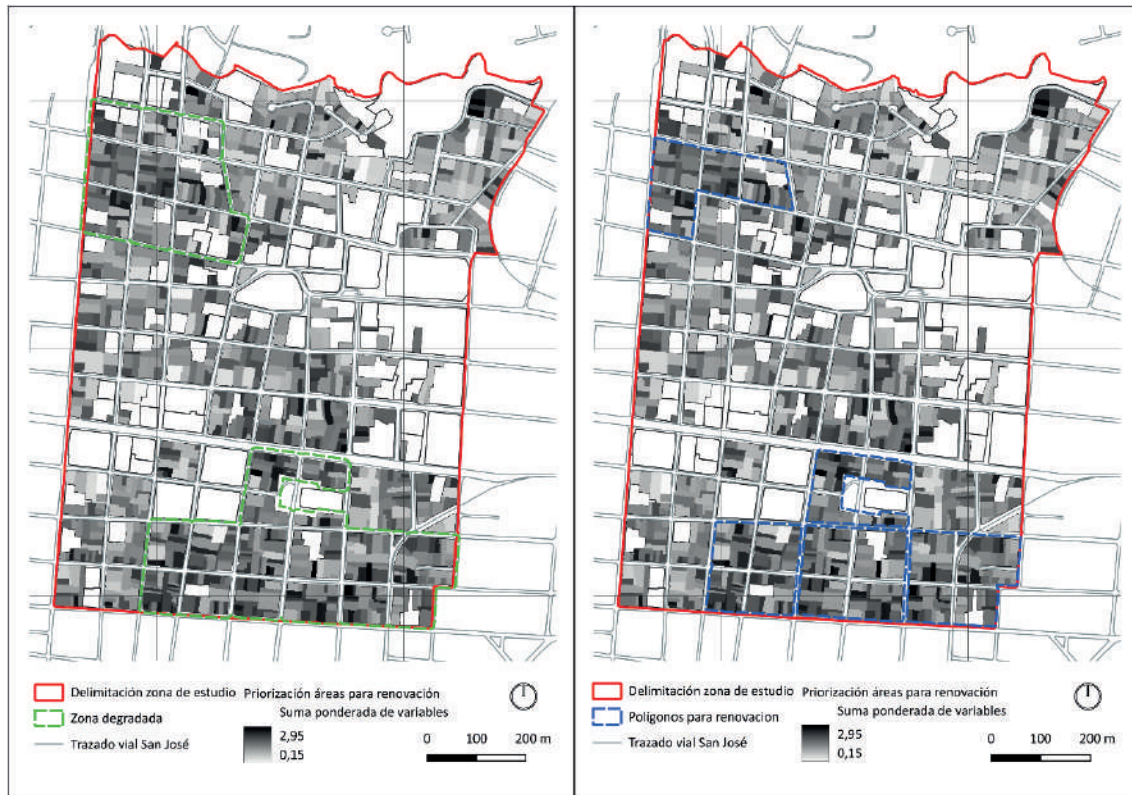


Figura 4. Resultado del proceso de mapeo de zonas prioritarias para el proceso de renovación urbana.

Conclusiones y/o recomendaciones (discusión)

El abordaje del análisis y la propuesta urbana es sistémico e implica el estudio de diversas variables. Por esta razón la incorporación de procesos mediados por recursos de SIG permite resultados más acertados, al facultar utilizar recursos como el álgebra de mapas cuya metodología conduce a efectuar operaciones matemáticas a partir de las capas geoespaciales. La combinación de capas permite obtener información derivada que orienta la toma de decisión para identificar los puntos concretos que el proyecto convierte en propuesta de mejora. El análisis de atributos múltiples es un proceso complejo que el SIG con sus posibilidades analíticas permiten agilizar y dar precisión a la planificación urbana o al abordaje de tratamientos y estrategias urbanas [10].

El objetivo de todo este esfuerzo es identificar las áreas más idóneas o prioritarias de intervención para rehabilitar edificios y revitalizar urbanamente y para tal fin se requería un diagnóstico urbano. Los tejidos urbanos se comportan muchas veces como organismos vivos denotando ciclos en los cuales se nace, crece, se desarrollan, decaen y en muchos casos ante la ausencia de estrategias urbanísticas dinamizadoras o de regeneración urbana pueden incluso morir. Independientemente del nivel de desarrollo, contexto geográfico o de ingresos económicos, muchas áreas urbanas céntricas son tejidos urbanos degradados producto de varias transformaciones a lo largo del tiempo que demandan una intervención urbanística.

El tratamiento busca la recuperación física y funcional de las edificaciones y la inserción de la compacidad como estrategia dirigida a insertar y articular entre sí proyectos de arquitectura, espacio público, rehabilitación o readecuación funcional de edificios, no solo con el objetivo

de la recuperación física de la ciudad sino también de promover la sostenibilidad, incentivar la recuperación y dinámica económica a través de usos diversos y activos. En suma, la compacidad busca mezclar una densidad media-alta, con todos los servicios y espacios necesarios para lograr una alta habitabilidad (calidad de vida) urbana y el aumento en la demanda de vivienda en la ciudad.

El ejercicio del proyecto de investigación en su diagnóstico es un “laboratorio urbano” que implica entender el funcionamiento de los tejidos urbanos, cuantificarlos para plantear transformaciones que devuelvan la vida y dinámica a la ciudad con apoyo de herramientas de información geográfica y de representación digital.

Para el ejercicio en concreto fue posible establecer un proceso automatizado para la identificación de zonas de interés, sin embargo, se hace evidente que el proceso no es sujeto de generalización, ya que es el criterio de experto el que permite definir una selección adecuada de las variables y la ponderación de estas y además un análisis de los resultados.

La metodología permite ajustar las ponderaciones y comparar los resultados identificando como se desplazan las manchas de calor.

De primera entrada, es posible identificar que, al estar trabajando en una delimitación tan corta, las variaciones en los valores de suelo podrían no ser significativas pues tienden a homogenizar las condiciones del territorio. Algo similar sucede con la delimitación de zonas del Plan Regulador, sin embargo, es una variable que se podría incorporar en función de los intereses o prioridades de la administración municipal. Dado el patrón homogeneizador que podía generar en los resultados estas variables no se incluyeron en el proceso de cálculo.

Lo mismo sucede con los radios caminables a servicios y puntos de atracción, pues en general el área de estudio resulta pequeña, sin embargo, estas variables podrían ser mucho más significativas si se analiza la extensión completa de los cuatro distritos que integran el centro histórico de la ciudad de San José. Para el caso de la zona de estudio, se tomó la decisión de no eliminar esta variable pues será un elemento de valor en caso de ampliar el ejercicio a la delimitación completa del Centro Histórico de San José y sus ensanches. No obstante, se dio una ponderación menor, ya que en general todo el territorio se encuentra en un rango caminable.

Por otro lado, es importante indicar que el ejercicio se desarrolla con la información disponible y recopilada, pero podría ser de utilidad incorporar dentro del análisis otras variables que resulten detractores como los focos de prostitución, inseguridad o contaminación, sin embargo, esta información no se encuentra detallada ni focalizada para la zona de estudio, sino en términos generales para los distritos.

La calculadora ráster resultó una herramienta bastante flexible, que permite ajustar la ponderación de las variables facultando incluso ver cambios en los patrones según los escenarios de rehabilitación y los pesos asignados a las variables.

El desarrollo de este ejercicio se concentró en pilotear el uso de la herramienta SIG para la priorización de las zonas, sin embargo, se reconocen las limitaciones sobre todo ante la reducida extensión de la zona de estudio, que genera zonas muy homogéneas.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación y la Dirección de Proyectos por el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto durante los últimos dos años y medio. Igualmente, al equipo investigador conformado, además de los autores de este artículo, por el Ingeniero Dr. Mauricio Arroyo Herrera, el arquitecto Dr. Sebastián Orozco Muñoz, la Dra Paula Arzadun y la becaria Lic. Raquel Alfaro Martínez

Referencias

- [1] E.A.C. Sánchez, I.M.P. Sánchez, P.G.F. Espinoza and A.N.L. Garabi, "Evaluación multicriterio con aplicación de sistemas de información geográficas SIG para definir espacios de expansión urbana en el cantón Naranjito," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 6, no. 6, pp. 93–109.
- [2] R. Generales, "Estimación de Población y Vivienda 2022,".
- [3] Municipalidad de San José, Instituto Tecnológico de Costa Rica, "Plan de Acción Para el Centro Histórico de San José 2015-2021,".
- [4] R.S. Mendieta Galeano and Y.M. Ávila Castro, "Análisis de la aptitud de suelo para la agricultura en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca utilizando los sistemas de información geográfica (SIG),".
- [5] N.C. Flórez Sáenz and A.C. Julio Contreras, "Análisis de los índices de susceptibilidad de inundación a través de Sistemas de Información Geográficas (SIG), en la ciudad de Bogotá DC, Colombia,".
- [6] J.S. Bárcenas Mantilla, J.D. Garcés Pinto and I.J. Bohórquez Blanco, "Análisis multicriterio mediante el uso de SIG para la identificación y zonificación de áreas de riesgo por inundación en el municipio de San Alberto Cesar (departamento del Cesar),".
- [7] R.W. Brito López and P.A. Lobo Anaya, "Desarrollo de un modelo de zonificación de riesgo por inundación en Barranquilla (Atlántico), con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG),".
- [8] T. Bernhardsen, "Geographic information systems: an introduction," 2002.
- [9] M.H. Asensi and E.J. Álvarez-Palau, "Urbanización, ocupación del suelo e infraestructuras de soporte," *Oikonomics: Revista de economía, empresa y sociedad*, no. 16, pp. 1–9.
- [10] J.A. LaGro Jr, "Site analysis: A contextual approach to sustainable land planning and site design," 2011.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Para la revisión gramatical, ortográfica y traducciones de este artículo, empleamos la herramienta de IA *Grammarly*. Esta nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista.