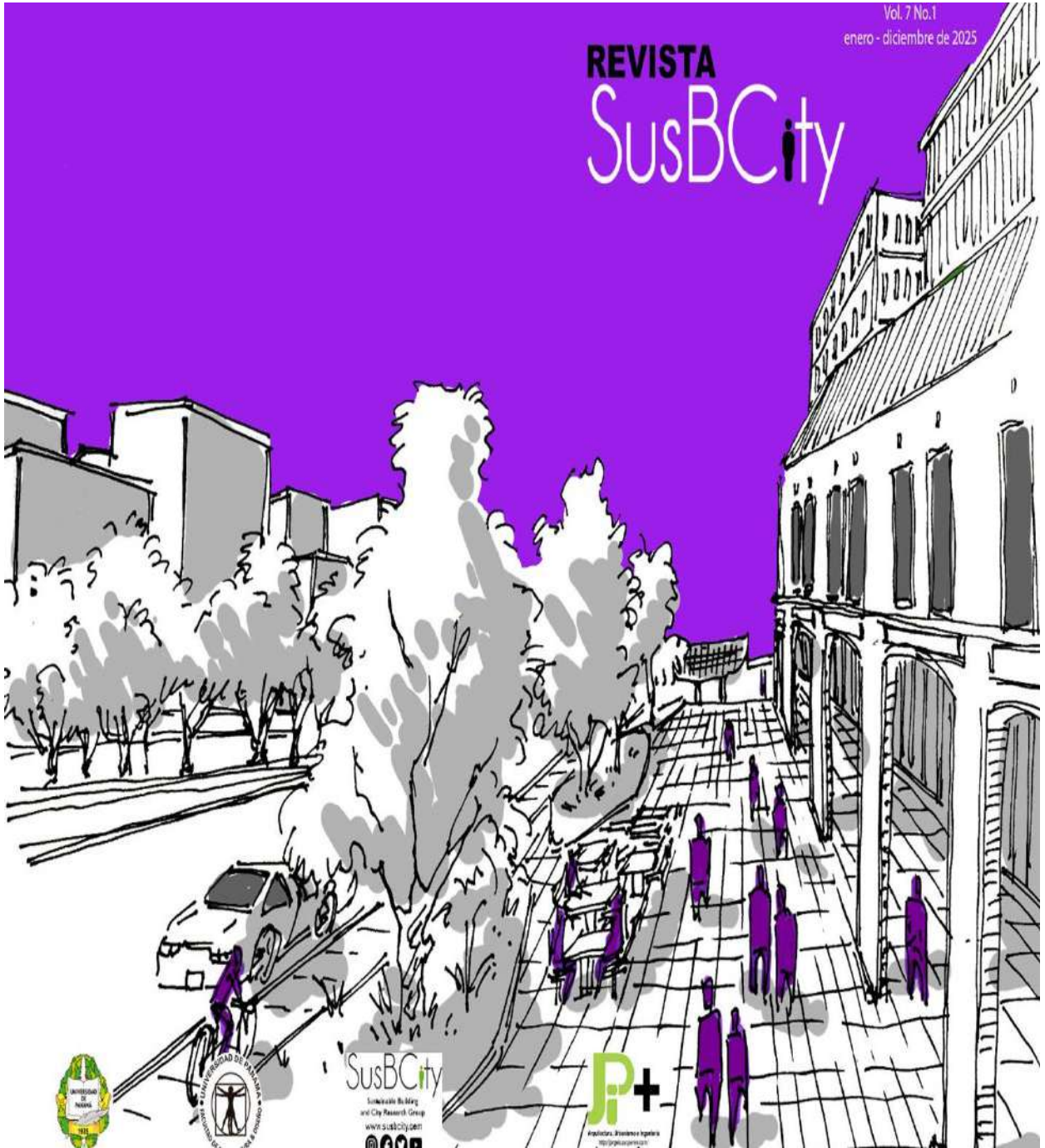


Vol. 7 No.1  
enero - diciembre de 2025

# REVISTA SusBCity



SusBCity  
Sustainable Building  
and City Research Group  
www.susbcity.com  
@susbcity



# SusBCity

**Vol.7, No.1**  
**enero-diciembre**  
**2025**

**ISSN L-2710-7426**

Publicación Anual

Revista SusBCity

Revista multidisciplinaria - Publicación anual

Para correspondencia, canje e información contactar al Fundador y Editor Jefe de la Revista SusBCity Dr. Jorge Isaac Perén Montero a: [jip@jorgeisaacperen.com](mailto:jip@jorgeisaacperen.com)

Portada: Jorge Isaac Perén Montero.

Todos los derechos reservados

Los artículos publicados pueden ser reproducidos citando la fuente.

Las opiniones expresadas en los artículos son responsabilidad exclusiva de sus autores y no expresan necesariamente el pensamiento del directo y editor jefe, ni de los comités editoriales ni de la entidad.

ISSN L 2710-7426

## **COMITÉ EDITORIAL**

### **Director y Editor Jefe**

#### **Dr. Jorge Isaac Perén Montero**

Grupo SusBCity (Sustainable Building and City Research Group)  
Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Panamá (FADUP).  
JIP+ Arquitectura, Urbanismo e Ingeniería, SA.

### **Comité Científico Internacional**

Dra. Silvia de Schiller

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU), Universidad de Buenos Aires, Argentina

Dr. John Martin Evans

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU), Universidad de Buenos Aires, Argentina

Dra. Tatiana Sakurai

Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad de Sao Paulo (USP), Brasil

Dr. Antonio Castillo

Instituto Politécnico Nacional (IPN), México

### **Comité Científico Nacional**

Dr. Alexis Tejedor

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Dr. Jorge Quijada

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Dra. Silvia Arroyo

Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Panamá (FADUP).

## **Consejo de Redacción**

Laureano Jaramillo  
JIP+ Arquitectura, Urbanismo e Ingeniería S.A.

Daniel Isaac  
JIP+ Arquitectura, Urbanismo e Ingeniería S.A.

## **Producción y Edición**

Jorge Isaac Perén Montero  
JIP+ Arquitectura, Urbanismo e Ingeniería S.A.

## EDITORIAL

Es un honor, como fundador y editor jefe de la Revista *SusBCity*, presentar este séptimo volumen de la revista científica indexada en Latindex, el cual es un hito más en nuestro compromiso con la sostenibilidad. La Revista *SusBCity* fue creada por mi persona, luego de mi regreso a Panamá en el 2016, con el propósito de contribuir con la difusión de la investigación aplicada a la sustentabilidad del edificio y la ciudad. Desde sus inicios, he procurado que la revista se convirtiera en un espacio donde la ciencia, la tecnología y la reflexión académica internacional se unan con las demandas reales del entorno urbano.

Este volumen consta de diez artículos sobre sostenibilidad en el edificio y la ciudad; tres de ellos internacionales, siendo dos escritos por Doctores de dos de las mejores Universidades de Latinoamérica: USP Brasil y UBA Argentina. Los artículos son: (1) **Conforto Ambiental no Processo de Projeto – Uma Experiência Didática** (en portugués) sobre la importancia de integrar el confort ambiental en las primeras etapas del diseño arquitectónico, destacando las experiencias didácticas en la FAU-USP; (2) **Energía Embuda e Impacto Ambiental de Agua Potable en Buenos Aires** profundiza en la huella de carbono del agua potable en la ciudad de Buenos Aires, y su impacto ambiental en el ciclo de vida del recurso; (3) **Integración de Enfoques de Planificación y Diseño para el Desarrollo Sostenible de Infraestructura Pública y Privada** presenta una revisión sistemática sobre la integración de estrategias de planificación y diseño de infraestructura sostenible; (4) **Evaluación Numérica del Desempeño de una Edificación con Estrategias Bioclimáticas en Ciudad de Panamá** ofrece una evaluación detallada de la eficiencia energética y el comportamiento térmico de un edificio en la ciudad de Panamá, utilizando herramientas numéricas; (5) **Calidad de Puntos de Control en Imágenes Aéreas Obtenidas Mediante Uso de Vehículos No Tripulados** se enfoca en el uso de drones para obtener imágenes aéreas de alta resolución, cruciales para el monitoreo en áreas de difícil acceso; (6) **Aplicación de Herramientas de Inteligencia Artificial en el Diseño Arquitectónico en Panamá** explora cómo la inteligencia artificial puede ser aplicada en el proceso de diseño arquitectónico; (7) **Árboles de la Cresta: Caracterización y Beneficios Ambientales** analiza los beneficios ecológicos y sociales de los árboles urbanos en la Cresta; (8) **Criterios para la Selección de un Terreno para un Centro de Investigación en el Parque Nacional Santa Fe** presenta una herramienta de selección de terrenos para proyectos de infraestructura sostenible en áreas protegidas, combinando criterios ambientales y funcionales. (9) **Caracterización de la Morfología Urbana de un Sector de Betania y Pueblo Nuevo** ofrece un análisis detallado de la morfología urbana en un sector de la ciudad de Panamá, útil para futuras intervenciones en planificación urbana. (10) **Hospital San Juan de Dios: Primer Asilo y Hospital de la Ciudad de Santiago** evalúa el valor histórico y la sostenibilidad del Hospital San Juan de Dios, un referente en la infraestructura de salud de la región.

Agradezco el apoyo financiero de la empresa JIP+ Arquitectura, Urbanismo e Ingeniería S.A. por cubrir gastos de edición, administrativos y viajes internacionales de difusión. Gracias a este último, la revista ha tenido hasta la fecha artículos de Argentina, Brasil, Indonesia, Méjico y Perú. Agradezco igualmente al Dr. Eduardo Flores, rector de la Universidad de Panamá (UP), por aceptar que esta revista independiente se mantenga en el repositorio de revistas de la UP, respaldo institucional vital para su difusión y crecimiento a nivel local. Este modelo de colaboración entre la universidad (UP) y la empresa privada (JIP+) ha demostrado ser un camino necesario para impulsar la difusión de conocimiento. La Revista refleja nuestro esfuerzo en (a) acercar la investigación científica a los retos concretos de nuestras edificaciones y ciudades, y (b) promover la colaboración multidisciplinaria hacia la construcción de un futuro más sostenible y resiliente. Agradezco a los autores, revisores y colaboradores por su dedicación y compromiso. Invito a los profesionales de la arquitectura, la ingeniería y el urbanismo a participar con sus artículos en las próximas ediciones.



Dr. Jorge Isaac Perén Montero  
Editor en Jefe Revista Científica SusBCity

## Índice

<i>Conforto ambiental no processo de projeto – uma experiência didática</i>	8
Energía imbuida e impacto ambiental de agua potable en Buenos Aires	16
Integración de enfoques de planificación y diseño para el desarrollo sostenible de infraestructura pública y privada a través de un análisis global: revisión sistemática de literatura.	25
Evaluación numérica del desempeño de una edificación con estrategias bioclimáticas en ciudad de Panamá	35
Calidad de puntos de control en imágenes aéreas obtenidas mediante uso de vehículos no tripulados	45
Aplicación de herramientas de inteligencia artificial en el diseño arquitectónico por estudiantes y profesionales en Panamá	51
Árboles de la cresta: caracterización y beneficios ambientales	60
Criterios para la selección de un terreno para un centro de investigación en el Parque Nacional Santa Fe	66
Caracterización de la morfología urbana de un sector de Betania y Pueblo Nuevo entre las estaciones del metro 12 de Octubre e Ingenio	74
Hospital San Juan de Dios. Primer Asilo y Hospital de la ciudad de Santiago	82

## Conforto ambiental no processo de projeto – uma experiência didática

### Confort ambiental en el proceso de diseño – una experiencia de enseñanza

*Michele Marta Rossi*<sup>1a</sup>, *Alessandra R. Prata Shimomura*<sup>1b</sup>

<sup>1a</sup> Universidade de São Paulo, São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, , Brasil

<sup>1b</sup> Universidade de São Paulo, São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, , Brasil

<sup>1a</sup> [michele.rossi@usp.br](mailto:michele.rossi@usp.br) ; <sup>1b</sup> [arprata@usp.br](mailto:arprata@usp.br)

<sup>1a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4048-556X>, <sup>1b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1812-6870>

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 15 de enero de 2025

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6850>



**RESUMO:** Inúmeras crises mundiais (sanitária, ambiental, climática, entre outras) e a realidade nacional, caracterizada por climas prioritariamente quentes e úmidos, tornam a adoção de estratégias de Conforto Ambiental essencial desde a concepção projetual do ambiente construído. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo relatar o primeiro oferecimento da disciplina optativa, AUT0231 Conforto Ambiental no Processo de Projeto, destinada aos discentes interessados na temática durante o 2º semestre de 2024 na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, Brasil. Essa experiência didático-pedagógica buscou instrumentar os discentes participantes sobre a multiplicidade de temas que associam questões do conforto ambiental ao ato de projetar. A abordagem adotada permitiu atendimentos, análises, discussões e dinâmicas com profissionais e docentes convidados, possibilitando aos discentes o enfrentamento de problemáticas contemporâneas e enfatizando a importância do conforto ambiental nas diversas fases de desenvolvimento de um projeto. A devolutiva dos discentes foi positiva e um segundo oferecimento foi incentivado. Para edições futuras, almeja-se a inclusão de um caderno de processo de projeto como um dos produtos a ser entregue pelos discentes nas avaliações, além de uma maior utilização de modelos físicos como ferramenta de investigação projetual, especialmente em relação ao estudo dos fenômenos físicos relacionados ao conforto ambiental.

**PALAVRAS CLAVE:** Arquitetura bioclimática, conforto ambiental, concursos estudantis, ensino em arquitetura e urbanismo, processo de projeto.

**RESUMEN:** Innumerables crisis mundiales (sanitaria, ambiental, climática, entre otras) y la realidad nacional, caracterizada por climas predominantemente cálidos y húmedos, hacen que la adopción de estrategias de Confort Ambiental sea esencial desde la concepción del ambiente construido. En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo relatar la primera oferta de la asignatura optativa, AUT0231 Confort Ambiental en el Proceso de Proyecto, destinada a los estudiantes interesados en la temática durante el segundo semestre de 2024 en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de São Paulo, Brasil. Esta experiencia didáctico-pedagógica buscó capacitar a los estudiantes participantes sobre la multiplicidad de temas que vinculan las cuestiones del confort ambiental al acto de proyectar. El enfoque adoptado permitió atendimientos, análisis, discusiones y dinámicas con profesionales y docentes invitados, brindando a los estudiantes la oportunidad de enfrentar problemáticas contemporáneas y subrayando la importancia del confort ambiental en las diversas fases del desarrollo de un proyecto. La retroalimentación de los estudiantes fue positiva y se incentivó una segunda oferta de la asignatura. Para futuras ediciones, se busca incluir un cuaderno de proceso de proyecto como uno de los productos a entregar por los estudiantes en las evaluaciones, además de

una mayor utilización de modelos físicos como herramienta de investigación proyectual, especialmente en relación al estudio de los fenómenos físicos relacionados con el confort ambiental

**PALABRAS CLAVES:** Arquitectura bioclimática, confort ambiental, concursos estudiantiles, enseñanza en arquitectura y urbanismo, proceso de proyecto.

**ABSTRACT:** Numerous global crises (health, environmental, climate-related, among others) and the national reality, characterized by predominantly hot and humid climates, make the adoption of Environmental Comfort strategies essential from the very conception of the built environment. In this context, the present article aims to report the first offering of the elective course, AUT0231 Environmental Comfort in the Design Process, intended for Architecture and Urbanism students interested in the subject during the second semester of 2024 at the Faculty of Architecture, Urbanism and Design the University of São Paulo, Brazil. This didactic-pedagogical experience is aimed to equip the participating students with knowledge on the wide range of topics that link environmental comfort issues to the act of designing. The adopted approach allowed for consultations, analyses, discussions, and dynamics with invited professionals and faculty members, providing students with the opportunity to address contemporary issues while emphasizing the importance of environmental comfort in the various stages of project development. Student feedback was positive, and a second offering of the course was encouraged. For future editions, it is envisioned to include a project process notebook as one of the deliverables for students in the evaluations, in addition to increasing the use of physical models as a tool for project investigation, particularly in relation to the study of physical phenomena related to environmental confort.

**KEYWORDS:** Bioclimatic architecture, environmental comfort, student competitions, teaching in architecture and urbanism, design process.

---

## 1. INTRODUÇÃO

O cenário recente e atual caracterizado por crises (sanitárias, climáticas, ambientais, econômicas, sociais, entre outras) em níveis mundial, nacional ou local, evidencia a preocupação de renomadas instituições – como a Organização das Nações Unidas (ONU), ao realizar apelo global postulando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, e o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), com seus Relatórios Climáticos – sobre a atuação da sociedade na modificação do ambiente, tanto natural quanto construído.

O conforto ambiental no processo de projeto pode desempenhar um papel crucial na mitigação dessas crises, pois visa garantir que espaços construídos ofereçam condições adequadas de habitabilidade e promovam o bem-estar dos usuários, permitindo o controle das condições ambientais sempre que possível. O enfoque nas questões ambientais ao longo do processo de projeto exige a integração de princípios de sustentabilidade, de conforto ambiental e de eficiência energética, desde as fases iniciais até a execução e a operação do projeto. Esse processo demanda uma abordagem interdisciplinar, em que os atores envolvidos - arquitetos, engenheiros, consultores, entre outros - trabalham conjuntamente para minimizar os impactos ao meio ambiente e maximizar o desempenho ambiental.

O processo de projeto do ambiente construído é complexo, e não existe um método ou uma metodologia única capaz de resolver os problemas apresentados. Cada caso é ímpar,

necessitando de soluções que atendam às demandas identificadas [1].

O entendimento das condicionantes internas e externas ao problema, no caso da área de Arquitetura e do Urbanismo, envolve a adequação do ambiente construído (escalas da cidade e das edificações) ao clima local. A disciplina de Conforto Ambiental, dentro do universo da Arquitetura e Urbanismo, tem como premissa sensibilizar os alunos quanto aos conceitos de ergonomia, térmicos, acústicos e luminosos, fundamentando aplicações no processo de projeto do ambiente construído e resultando em condições adequadas de acessibilidade, mobilidade, conforto e segurança.

No entanto, ainda que a alocação das disciplinas da área de Conforto Ambiental seja direcionada aos primeiros anos do curso de graduação, é recorrente na prática profissional a inserção tardia destes conceitos, culminando em retrabalhos e desperdícios (de diferentes ordens) durante o ciclo de vida da edificação. Inúmeras justificativas podem auxiliar a esclarecer esse padrão: o desenho como fator limitante e a complexidade inerente à tradução gráfica e visual dos fenômenos físicos [2, 3, 4, 5]; a associação reducionista do conforto ambiental à física aplicada ao ambiente construído [6]; a descrença da efetividade de sistemas passivos quando comparados aos artificiais [7] e; o uso de ferramentas de simulação robustas e/ou simplificadas sem entendimentos adequados acerca da modelagem correta do fenômeno; das simplificações que

podem ser adotadas; ou da base conceitual sólida (trocas de calor e mecânica dos fluidos) para análises de resultados [8].

Na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP), as disciplinas de Conforto Ambiental historicamente buscam uma maior aplicabilidade dos conceitos ao processo de projeto. Contudo, em razão das turmas extensas (em média 150 discentes), práticas laboratoriais são pouco introduzidas durante as aulas.

A FAU-USP, em sua estrutura curricular, apresenta quatro disciplinas na área do Conforto Ambiental a saber: AUT0282 Conforto Ambiental 1 – Fundamentos; AUT0284 Conforto Ambiental 2 – Iluminação; AUT0286 Conforto Ambiental 3 – Termoacústica; e, AUT0288 Conforto Ambiental 4 – Projeto, situadas do 1º. ao 4º. ano do curso, respectivamente, considerando que o estudante curse a estrutura curricular ideal. O curso da FAU-USP é estruturado em seu Projeto Político Pedagógico/PPP para ser realizado em cinco anos; tendo o Trabalho Final de Graduação/TFG acontecendo no último ano do curso após o cumprimento das disciplinas obrigatórias. O curso é composto por disciplinas obrigatórias e optativas; sendo estas últimas selecionadas pelos discentes, dentro do quadro disponível, de acordo com seus interesses e aperfeiçoamentos que almejam para suas carreiras profissionais. Usualmente, essas disciplinas são oferecidas a um número de alunos menor que o das obrigatórias, o que permite que os conceitos, ferramentas, práticas sejam trabalhados de formas diferenciadas.

A disciplina AUT0282 Conforto Ambiental 1 – Fundamentos tem como objetivo sensibilizar o estudante quanto a relevância do conforto ambiental nos projetos de arquitetura e urbanismo; bem como estabelecer a importância da ergonomia e dos fatores humanos na concepção, dimensionamento e arranjo do ambiente construído. Prioritariamente, esta disciplina reúne questões acerca da ergonomia e da geometria da insolação para projeto e avaliação de edifícios e espaços urbanos. São realizadas atividades de campo com medições de variáveis ambientais e físicas do ambiente construído e a realização de ensaios com modelos físicos, abordando aspectos relacionados à formação de base para avaliação do desempenho térmico e luminoso do ambiente construído. Já a disciplina AUT0284 Conforto Ambiental 2 – Iluminação aborda conceitos de iluminação natural e artificial. A ideia aqui é a caracterização qualitativa e quantitativa da luz, tendo a iluminação artificial como complemento da iluminação natural. Ferramentas para avaliação de desempenho de iluminação natural e artificial, são apresentadas e exercícios que auxiliem o olhar sobre essas questões são realizados. Modelagem física e computacional como recursos auxiliares de projeto visando a iluminação natural e artificial, são desenvolvidos para integração desta temática nos projetos.

Na sequência a AUT0286 Conforto Ambiental 3 – Termoacústica habilita o estudante para a avaliação de edifícios, com verificação qualitativa e/ou quantitativa de desempenho térmico e acústico. Nesta disciplina aspectos de clima, entorno e exigências humanas, com foco nas questões de térmica e acústica ganham destaque. Um modelo de cálculo de desempenho térmico que agrega variáveis do ambiente construído (pessoas, equipamentos, iluminação artificial, etc) e trocas térmicas, apoia a verificação das condições internas dos ambientes, com aporte a compatibilização das questões de térmica, iluminação (natural e artificial), térmica e acústica. A última disciplina da sequência - AUT0288 Conforto Ambiental 4 – Projeto tem como objetivo o desenvolvimento de projetos de espaços urbanos e de edificações, considerando as questões de conforto ambiental e de eficiência energética tratadas nas disciplinas anteriores. Com base em levantamentos de campo e ferramentas de avaliação de desempenho ambiental de espaços urbanos e de edificações, um exercício em projeto (*retrofit*) é realizado.

A criação da disciplina optativa AUT0231 Conforto Ambiental no Processo de Projeto teve como objetivo apresentar um panorama sobre o conforto ambiental e eficiência energética no processo de projeto enfatizando a importância da inclusão em todas as etapas do processo de projeto. A ideia foi a de fomentar uma reflexão acerca da importância da inclusão do conforto ambiental no processo de projeto no enfrentamento de problemáticas contemporâneas; bem como estabelecer a visão crítica do estudante a respeito da garantia de espaços construídos de menor impacto ambiental, maior eficiência energética e níveis de conforto aos usuários a partir da adequação da arquitetura ao clima.

Nessa disciplina foi ensaiada e iniciada a articulação das questões do conforto ambiental ao longo do processo de projeto do ambiente construído, podendo a depender da edição, dar enfoque na edificação e/ou no espaço urbano. Desta forma, não é almejado que os discentes atinjam ao final de seu curso, produtos finalizados da tipologia ou do cenário explorado, uma vez que o enfoque é no processo. Nesta edição da disciplina, buscou-se por um problema projetual que permitisse reflexão crítica e aplicação prática dos conceitos abordados nas aulas teóricas. Pautou-se como estudo de caso, um concurso estudantil onde a compreensão e análise do lançamento do edital, a definição do clima a ser trabalhado e a tipologia comum a todos foram pontos-chave para a elaboração das etapas entregues.

Neste artigo, objetiva-se, relatar e discutir os procedimentos metodológicos e resultados do primeiro oferecimento da disciplina optativa AUT0231 - Conforto ambiental no processo de projeto na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP), Brasil. O conteúdo é estruturado nas seguintes seções.

Seção 2. Metodologia, em que são apresentados os procedimentos metodológicos para o delineamento da experiência didático-pedagógica. Seção 3. Resultados e Discussão, englobam as principais percepções dos docentes e devolutivas dos discentes. Por fim, Seção 4. Conclusões, sintetizam os avanços obtidos e possíveis aprimoramentos para futuros oferecimentos da referida disciplina optativa em função das limitações observadas. Este formato es una plantilla que el autor puede modificar para preparar la versión de su revista electrónica de sus artículos. Todos los componentes especificados por tres razones: 1) fácil uso al preparar el documento, 2) cumplimiento de los requisitos electrónicos que facilitan la producción de artículos electrónicos, 3) márgenes, columnas, espaciado interlineal y estilos de letras son incorporados; ejemplos de estilos de letras son proporcionados a lo largo de este documento; así como algunos componentes, tales como ecuaciones, gráficas y tablas. El autor necesitará crear estos componentes incorporando los siguientes criterios: use estilos, fuentes y tamaños de letras tal como se definen en esta plantilla, no las cambie o redefina de ninguna manera para evitar alteraciones en la plantilla.

## 2. METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados os procedimentos metodológicos implícitos na estruturação de uma experiência didático-pedagógica oferecida pela primeira vez na FAU-USP, a disciplina optativa nomeada de “Conforto ambiental no processo de projeto”, sob a sigla de AUT0231.

A disciplina semestral, com carga horária total de 90h, foi organizada em 16 encontros semanais de 4h de duração, os quais contemplaram atividades teóricas e práticas e/ou exclusivamente práticas. Desta forma, os procedimentos metodológicos que guiaram esta organização, englobaram as seguintes atividades: (i) apresentação de conteúdos conceituais (pelas docentes responsáveis); (ii) dinâmicas em sala de aula; (iii) leitura coletiva e guiada de edital de concurso; (iv) palestras de temas correlatos ministradas por profissionais e professores convidados; (v) atendimentos práticos para o desenvolvimento do projeto; e (vi) entregas (parcial e final) durante o processo de projeto desenvolvido.

Os conteúdos conceituais abordados versaram sobre: 1. conforto ambiental e processo de projeto; 2. análise climática, análise bioclimática e implementação no processo de projeto; 3. definição de estratégias bioclimáticas projetuais em função do clima, do usuário e da atividade; 4. métodos e práticas de ensino colaborativos, integrados e participativos; 5. técnicas de representação gráfica de aspectos relacionados ao conforto ambiental; e, 6. ferramentas de análise, síntese e avaliação aplicadas no processo de projeto para investigações das condicionantes ambientais (modelos analíticos, experimentais e numéricos).

As dinâmicas realizadas em sala de aula foram concentradas nas duas primeiras aulas a fim de diagnosticar o conhecimento prévio dos discentes acerca das questões trabalhadas e romper com processos automatizados. Na primeira aula, os discentes receberam uma folha A4 e tiveram 30 minutos para organizarem neste espaço e tempo a questão lançada “*O que é processo de projeto?*”. Neste primeiro momento, os discentes deveriam sintetizar apenas os seus conhecimentos sobre o processo de projeto e, não necessariamente, vinculá-lo ao conforto ambiental. Na segunda aula, após uma breve explanação teórica das docentes sobre o processo de análise das condicionantes internas e externas do problema projetual, com destaque para as ambientais, os discentes cada qual munido com quatro folhas de papel manteiga A5 (nomeadas de térmica, acústica, iluminação e ergonomia) foram encaminhados para um terreno dentro do *campus* universitário. O desafio era listarem, para o terreno fictício de projeto, as condicionantes ambientais pertencentes a cada camada de investigação. Em sala de aula, docentes e discentes, elaboraram em conjunto uma prancha-síntese, evidenciando como tais aspectos são intrínsecos ao processo de projeto e, conseqüentemente, a concepção da forma, distribuição do programa e elaboração das estratégias projetuais.

A quarta aula foi destinada à leitura atenta do edital do concurso estudantil utilizado como estudo de caso. Objetivou-se com essa leitura coletiva e guiada ressaltar a importância do entendimento claro e minucioso das diversas e complexas demandas inerentes ao processo projetual e à compreensão do problema de projeto.

A participação de profissionais e de docentes convidados compuseram a parte central e, de certa forma, um dos seus pontos inovadores. O objetivo de englobar diferentes perspectivas sobre a inclusão do conforto ambiental no processo de projeto era um compromisso assumido desde a elaboração da ementa da disciplina optativa. Dos 16 encontros, sete contaram com participações externas. As participações foram caracterizadas por professores da instituição, do Departamento de Projeto (AUP) e, também do Departamento de Tecnologia (AUT), mas da área de representação; docente da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), exímia referência na área de processo de projeto; consultora de uma renomada empresa de Consultoria Ambiental e, com professor, arquiteto e urbanista, com experiência na área de mentoria em representação gráfica).

As temáticas das palestras foram “Processo de projeto em Arquitetura: complexidades e responsabilidades”; “Conforto, postura e Arquitetura”; “A ciência aplicada à arquitetura e construção civil” e “Diagramação e representação gráfica: conforto ambiental e meio de representação”. Alguns convidados, após apresentação teórica, propuseram aplicações

práticas. Assim, em uma das ocasiões a aula teve prosseguimento no Estúdio e, em outra, no Laboratório de Computação Gráfica/LCG.

Os atendimentos, que se configuraram desde a concepção da disciplina outro pilar estruturador, foram realizados no mínimo em seis aulas e buscaram mapear o desenvolvimento semanal do projeto, em alguns momentos com presença de professores convidados.

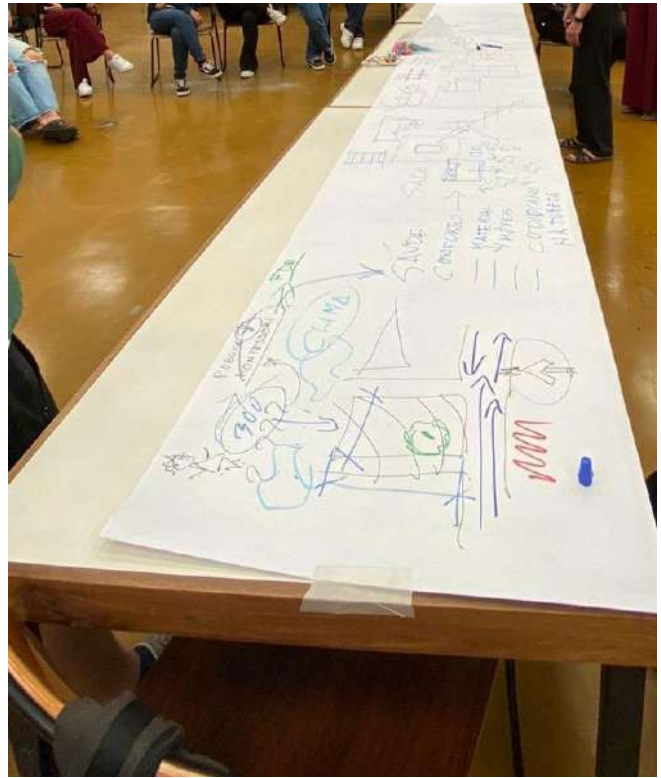
Os momentos avaliativos ocorreram na 11a e 15a aula, entregas preliminar e final, respectivamente. A entrega preliminar contou com a participação de um docente de projeto do curso de Arquitetura e Urbanismo da *Universidad de Panamá*, arquiteto e urbanista atuante e também especialista na área de conforto ambiental que na ocasião estava na FAU-USP em decorrência de um evento (2a Semana da Ventilação Natural). A avaliação final foi realizada pelas docentes responsáveis e por um professor também do Departamento de Tecnologia (AUT), mas da área de representação gráfica, que também participou, em outro momento da disciplina, de um dos atendimentos semanais.

Nas avaliações, o foco primordial foi no processo e em como os discentes trabalharam, dentro deste processo, o conforto ambiental em prol de uma inserção urbana e de um equipamento adequado ao clima local, às atividades desenvolvidas e às demandas dos usuários. Ambas as entregas consistiram em produtos digitais, apresentadas pelos integrantes dos grupos. Ademais, foi exigido que as entregas (preliminar e final) atendessem às normativas do concurso estudantil utilizado como estudo de caso.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A experiência didático-pedagógica relatada, que combinou o processo de projeto e o conforto ambiental como ponto central, buscou preparar os discentes ao reunir teoria, prática e ferramentas específicas, promovendo uma abordagem integrada e colaborativa no ensino.

Os resultados esperados, tanto por docentes quanto por discentes, eram possibilitar uma formação profissional mais consciente em relação à sociedade e ao planeta, capacitando-os com ferramentas e conhecimentos focados no processo, no conforto e nas variáveis que compõem o ato de projetar. Além disso, era também objetivo habilitá-los a enfrentar desafios, como por exemplo, um concurso estudantil, e resolver problemas reais da vida profissional, possibilitando o desenvolvimento e o reconhecimento de que o ato de projetar requer conhecimentos que se integram nas diversas áreas envolvidas na elaboração, execução e utilização de um espaço construído (Figura 1).



**Figura 1.** Exemplo de atendimento realizado no estúdio conduzido por docente convidada.

Quanto à organização dos conteúdos teóricos, constatou-se, no decorrer da disciplina, que estruturá-los com base na tríade “análise - síntese - avaliação” resultou em um formato coeso e eficaz, reforçando a conexão entre as etapas do processo de projeto, seu caráter cíclico e de retroalimentação.

O processo de projeto pode ser caracterizado por uma série de ações de análise, síntese e avaliação no equacionamento de demandas complexas e interdisciplinares [9]. Segmentar e dissociar esse processo em etapas independentes é questionável, sendo que “o mais provável é que projetar seja um processo no qual problema e solução surgem juntos. Muitas vezes, o problema pode não ser totalmente compreendido sem alguma solução aceitável para ilustrá-lo” [9].

A realização de dinâmicas nas primeiras aulas - (i) questionamento sobre o que é o processo de projeto e (ii) visita a um terreno fictício no *campus* universitário, seguido de mapeamento das condicionantes sob quatro camadas de observação (térmica, iluminação, acústica e ergonomia) - permitiu não apenas identificar o entendimento e o repertório prévio dos participantes sobre as temáticas envolvidas, mas também diagnosticar padrões de resoluções e incentivá-los a experimentar novas formas de abordagem e análise.

Destaque se dá à segunda dinâmica, em que, munidos de quatro pranchas A5 de papel manteiga durante a visita ao

terreno fictício, os participantes perceberam como todas as camadas de observação (térmica, iluminação, acústica e ergonomia) são constituintes da resolução de um mesmo problema - questão essa intensificada pela transparência característica do material utilizado para os registros. A recorrência de um mesmo aspecto, como, por exemplo, “orientação”, também ilustrou a interdisciplinaridade e a demanda por uma análise integrada para cada estratégia projetual.

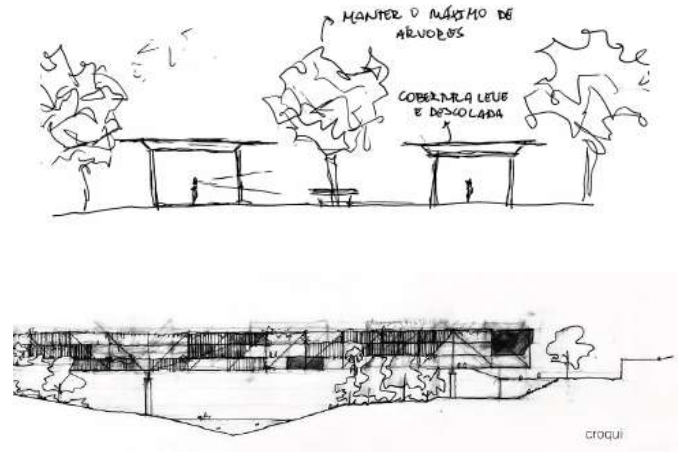
A leitura coletiva e guiada do edital de concurso adotado foi realizada com objetivo de familiarizar os discentes com as exigências formais e práticas dos itens contemplados no edital. A leitura em grupo, pausada para proporcionar explicações e discussões, foi ponto chave para o entendimento e esclarecimento de dúvidas que pudessem surgir durante o desenvolvimento do projeto.

As palestras sobre temas correlatos, ministradas por profissionais e professores convidados, além de suas participações em atendimentos e momentos avaliativos, foram outro ponto alto da disciplina. A diversidade de perspectivas sobre um mesmo ponto de partida - “processo de projeto e conforto ambiental”, indicado pelas docentes responsáveis e abordado pelos convidados - possibilitou que os participantes construíssem, ao longo do semestre, várias camadas (assim como em uma das dinâmicas) de interpretação e de ação sobre um mesmo problema, ampliando seu repertório. Os convidados, em sua maioria, participantes de concursos de arquitetura e urbanismo, também compartilharam suas experiências e percepções sobre o desafio de traduzir um processo de projeto em um recorte limitado de espaço.

Os atendimentos práticos, às vezes individualizados e outros coletivos, realizados com as docentes responsáveis e, por vezes, convidados, ofereceram um suporte personalizado e orientações específicas para cada equipe durante o processo de desenvolvimento projetual, auxiliando na resolução das dificuldades encontradas e no aprimoramento do trabalho executado. Foram formadas seis equipes, compostas por dois a quatro integrantes cada, com discentes não apenas de arquitetura e urbanismo, mas também de biologia, astronomia, engenharia ambiental, gestão ambiental e direito. Incentivou-se que as equipes não se restringissem a discentes do mesmo curso.

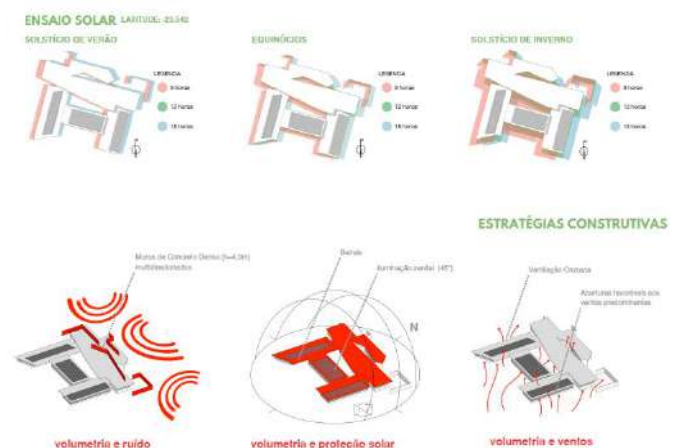
O incentivo ao desenho à mão durante a concepção também foi ressaltado durante os atendimentos. Neste momento, observou-se que a falta de fluência dos discentes em ferramentas digitais pode limitar o processo de concepção e de desenvolvimento de uma ideia (Figuras 2 e 3). Diante disso, as docentes responsáveis, inspiradas por uma prática utilizada na terceira aula por uma professora convidada, distribuíram rolos de papel manteiga às equipes para que registrassem o processo de concepção projetual com desenhos manuais. Este processo,

por vezes, se perde no salvamento de versões de arquivos digitais.



**Figuras 2 e 3.** Exemplos de croquis desenvolvidos por discentes como resultado do processo.

As entregas, intermediária e final, caracterizaram momentos de intercâmbio entre os docentes responsáveis, convidados e discentes. As avaliações e contribuições das equipes aos seus pares, assim como ocorrido nos atendimentos coletivos, possibilitaram importantes constatações sobre seu próprio desenvolvimento, especialmente no que se refere aos pontos não abordados ou modos diferentes de representação, organização e síntese de ideias e processos (Figuras 4 e 5).



**Figuras 4 e 5.** Exemplos de resultados obtidos com os conteúdos fundamentados nas questões do processo de projeto e do conforto ambiental.

Além disso, a definição de marcos de avaliação e de discussão (parcial e final), com itens e critérios pré-estabelecidos para as entregas, possibilitou um retorno mais detalhado e construtivo aos discentes. Na etapa intermediária, cada equipe teve um período de apresentação, com apoio de comentários e incentivos para o desenvolvimento da próxima etapa. Já na etapa final, foram feitos comentários e conclusões sobre o processo como um todo.

Após a apresentação final, foi reservado um breve momento para que os discentes pudessem expressar suas percepções sobre a disciplina, listando suas potencialidades e limitações. De modo geral, a devolutiva foi positiva, assim como o segundo oferecimento da disciplina optativa, que foi incentivado.

Um ponto destacado pelos discentes foi a importância de enfatizar, desde o início da disciplina, o processo e não apenas o produto projetual. Segundo os participantes, a recorrência, ao longo do curso de Arquitetura e Urbanismo, de apresentações de produtos concluídos gerou inquietação entre eles, principalmente ao finalizarem uma disciplina sem um resultado completamente finalizado.

A adoção de editais de concursos estudantis foi validada e será uma abordagem continuada em futuros oferecimentos dessa disciplina optativa. Trabalhar sobre um problema comum, com regras bem definidas e formatos de apresentação delimitados, permitiu que os participantes, focassem no processo de resolução do problema projetual, na tradução de suas ações com clareza, criatividade e objetividade, por meio de poucos produtos, mas com riqueza de camadas de informações (Figura 6).



**Figuras 6.** Exemplo de resultado obtido com os conteúdos fundamentados nas questões do processo de projeto e do conforto ambiental - camadas de informações.

Identificou-se também a pesquisa de informação, tanto ambientais quanto sobre novas soluções arquitetônicas e/ou materiais e materialidade, passíveis de serem utilizadas e/ou

adaptadas como referência para o desenvolvimento de soluções adotadas.

A inclusão de um caderno de processo de projeto e a utilização de modelos físicos podem trazer benefícios ainda mais significativos à dinâmica adotada nesta disciplina. Espera-se que o caderno de processo de projeto incentive a documentação contínua do processo de criação e investigação, promovendo a reflexão e a análise crítica dos discentes sobre as estratégias e decisões tomadas. Já o uso de ensaios e modelos físicos é essencial, pois permitem a compreensão prática dos fenômenos físicos envolvidos nas estratégias de ventilação, iluminação natural, acústica, entre outros aspectos, além de possibilitar a exploração de diversas escalas e materiais, alinhando-se com as etapas de desenvolvimento do projeto.

## 4. CONCLUSÕES

Este artigo contempla o relato, dos principais procedimentos metodológicos e os resultados alcançados no primeiro oferecimento da disciplina optativa AUT0231 Conforto Ambiental no Processo de Projeto, no segundo semestre de 2024, na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP).

Apesar de haver pontos que podem ser aprimorados em futuras edições, conclui-se que a disciplina atendeu aos objetivos propostos em sua ementa, principalmente no que tange ao compromisso de apresentar aos discentes um panorama sobre o conforto ambiental e eficiência energética no processo de projeto. A disciplina enfatizou a importância da integração destes aspectos em todas as etapas do processo de projeto, enfatizando o seu papel na mitigação das crises contemporâneas.

Ademais, a experiência didático-pedagógica propiciou, por meio de uma sequência de conteúdos teóricos, participação de docentes e profissionais convidados e dos encontros predominantemente práticos, o estímulo ao pensamento crítico, analítico e criativo, além de responsabilidade socioambiental. Esse formato fomentou a criação de caminhos viáveis para que os discentes enfrentassem desafios atuais e futuros da vida profissional, contribuindo para a construção de uma sociedade mais adaptada aos cenários previstos.

O entendimento de que problemas complexos exigem soluções interdisciplinares foi ressaltado ao longo do semestre, quando os alunos tiveram que enfrentar um problema projetual comum, relacionado à tipologia arquitetônica, mas em diferentes contextos climáticos, sociais, econômicos, territoriais e culturais. As diversas perspectivas sobre o binômio conforto ambiental e processo de projeto, trazidas pelos docentes responsáveis e profissionais e docentes convidados, foram enriquecidas pela diversidade do perfil dos discentes, que incluíram discentes de arquitetura e urbanismo,

biologia, astronomia, engenharia ambiental, direito e gestão ambiental.

Os processos de projetos, que sintetizaram demandas, perspectivas e disciplinas diversas em um trabalho colaborativo, resultaram em ganhos acadêmicos e profissionais a todos os envolvidos. A devolutiva positiva dos alunos e o incentivo de um futuro oferecimento da disciplina optativa reforçam o atingimento dos objetivos previamente estabelecidos.

## AGRADECIMENTO

As autoras agradecem o Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da FAU-USP (LABAUT) e a monitora do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE) e doutoranda MSc. Laís de Gusmão Coutinho pelo apoio no acompanhamento das atividades da disciplina. Ademais, aos professores e profissionais que participaram deste primeiro oferecimento da disciplina: Profa. Dra. Doris Catharine Cornelie Knatz Kowaltowski; Prof. Dr. Felipe Noto; Prof. Dr. Eduardo Pimentel Pizarro; Prof. MSc. André Eiji Sato, Prof. Dr. Jorge Isaac Perén Montero e MSc. Larissa Luiz.

## REFERENCIAS

- [1] D. Kowaltowski; G. Bianchi. J. R. D. Petreche. “A Criatividade no processo de projeto”. O processo de projeto em arquitetura: da teoria à prática. Orgs. Doris C.C.K. Kowaltowski, Daniel de Carvalho Moreira, João R. D. Petreche e Márcio M. Fabricio. Oficina dos Textos, São Paulo, 2011.
- [2] Kowaltowski, D. C. C. K.; Labaki, L. C.; Pina, S. M. G.; Bertolli, S. R. A visualização do conforto ambiental no projeto arquitetônico. IN: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1998, Florianópolis/SC. Anais...Florianópolis/SC: ANTAC, 1998.
- [3] Kowaltowski, D. C. C. K.; Gonçalves Pina, S. A. M.; Damaso, G. M.; Filho, F. B.; Aspectos de Conforto Ambiental de descrições de espaços construídos na Literatura Brasileira, 11/2003, Encac- Cotedi 2003 (Int) VII Encontro Nacional Sobre Conforto no ambiente Construído e II Conferência Latino-Americana Sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, Vol. 1, pp.1333-1340, Curitiba, PR, Brasil, 2003.
- [4] Kowaltowski, D. C. C. K.; Labaki, L. C.; Pina, S. M. G.; Gutierrez, G. C. R. E Gomes, V.S. The Challenges of Teaching bioclimatic architectural design, IN: International Conference: Passive and low energy cooling for the built environment, 2005, Santorini, Grécia, Anais...Santorini, Grécia, 2005.
- [5] Kowaltowski, D. C. et Al. Action research and architectural sustainable design education: a case study in Brazil. International Journal of Technology and Design Education, Springer, v. 30, n. 4, p. 815–836, 2020.
- [6] Kronka Mülfarth, R. C.. Ensino e conforto ambiental: discussão sobre a inserção da ergonomia no processo de projeto / Teaching and environmental comfort: A discussion about the insertion of ergonomics in the design process. OCULUM ENSAIOS (PUCCAMP), v. 15, p. 171, 2018.
- [7] Trindade, S. C.; Pedrini, A.; Duarte, R. N. C. Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. Ambiente Construído, v. 10, n. 4, p. 37–58, 2010.
- [8] Gonçalves, J. C. S.; Duarte, D. H. S. . Arquitetura Sustentável. Uma integração entre Ambiente, Projeto e Tecnologia em Experiências de Pesquisa, Prática e Ensino. Ambiente Construído (Online), v. 6, p. 51-81, 2006.
- [9] Lawson, Bryan. Como arquitetos e designers pensam. Tradução de Maria Beatriz Medina. São Paulo: Oficina de textos. 2011.

## Energía imbuida e impacto ambiental De agua potable en Buenos Aires

### Ibuted energy and environmental impact Of drinking water in Buenos Aires

*John Martin Evans*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.*

[evansjmartin@gmail.com](mailto:evansjmartin@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-3363-8855>

Fecha de recepción: 25 de noviembre de 2024

Fecha de aceptación: 15 de enero de 2025

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6851>



**RESUMEN:** El presente trabajo establece la energía imbuida de agua necesaria para los procesos de extracción, potabilización y distribución, sumando el consumo en bombeo y tratamiento de aguas servidas que complementan este suministro. Se analiza el caso de agua potable en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y su Regional Metropolitana. La demanda de energía permite calcular las correspondientes emisiones de gases efecto invernadero. Además, se estima la relación inversa, el agua necesaria para generar electricidad hidroeléctrica según el volumen que pasa por las turbinas y el agua perdida por evaporación en las represas. Luego se compara la energía imbuida de agua suministrada a una vivienda típica en la región del estudio con la energía convencional utilizada en la misma vivienda. Finalmente, se establece la relación entre la demanda de agua de una vivienda y el potencial recurso de agua de lluvia, a fin de reducir los impactos ambientales. El estudio muestra que la energía imbuida de agua representa aproximadamente 8 % de la demanda de energía eléctrica del sector residencial y 2 % de la energía total de vivienda en la zona de estudio, proporción que aumentará cuando se implementen medidas de eficiencia energética. La discusión final muestra que el aumento de la variabilidad pluvial en zonas de creciente déficit hídrico y el crecimiento de la demanda tenderá a incrementar la energía imbuida del agua.

**PALABRAS CLAVES:** Agua potable, energía imbuida, infraestructura urbana, huella energética, huella hídrica.

**ABSTRACT:** The present paper establishes the embodied energy of water, the amount of energy needed for the extraction, purification and distribution, adding the pumping and treatment of wastewater, which complements the water supply. It analyses the case of the drinking water supply in the Autonomous City of Buenos Aires and its Metropolitan Region. The conventional energy demand allows the calculation of the corresponding greenhouse gas emissions. The paper also estimates the inverse relationship, the water needed to generate electricity based on the volume passing through the hydroelectric turbines and the water lost in evaporation from the reservoirs. Next, the study compares the embodied energy of water supplied to a typical dwelling in the study region with the conventional energy used in the same dwelling. Finally, the typical water demand of the housing sector in the study region is compared with the rainwater resource to evaluate possible reductions of environmental impacts. The study shows that the embodied energy of water corresponds to 8 % of typical residential electrical energy demand, and 2 % of the total energy demand of this sector; a proportion that will increase when implementing energy efficiency measures. The final discussion shows that growing climatic variability and increasing demand will tend to reduce water availability in some zones and intensify the embodied energy of water.

**KEYWORDS:** Drinking water, embodied energy, urban infrastructure, energy footprint, water footprint.

## 1. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable, derecho internacionalmente reconocido por Naciones Unidas [1] y el mejoramiento de su distribución son dos metas condicionantes de relevancia, ya incorporados en los ODS, Objetivos del Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas [2]. En ese contexto, el Objetivo 6, Agua Limpia y Saneamiento, propone mejorar el acceso al agua limpia a 785 millones de personas que no contaban aun con servicios básicos de agua potable en 2017 [3]. El uso racional de agua potable contribuye a la sustentabilidad en edificios y merece una importante puntuación en los sistemas de certificación, tales como LEED [4] y BREEAM [5]. Sin embargo, como se demuestra en este trabajo, el proceso de provisión de agua potable para mejorar la calidad de vida también requiere importantes y crecientes recursos energéticos mientras genera impactos ambientales significativos.

En ese contexto, el presente trabajo surge de estudios realizados con el fin de identificar las condiciones necesarias para promover ‘Vivienda Energía Cero’ [6 y 7] y de muy baja demanda, considerando que, con mayor eficiencia energética, las demandas y emisiones que fueron considerados mínimos en el pasado, actualmente revisten mayor importancia y urgencia.

La definición de ‘viviendas energía cero’ contempla un balance energético anual cero de la energía que cruza los límites de la parcela de una vivienda, Alcance 1, y la energía utilizada para generación y transporte de la energía secundaria, Alcance 2. La energía y las emisiones de Alcance 1 corresponden al uso dentro de la propiedad, mientras que el Alcance 2 incluye la energía y emisiones necesarias para generar, procesar y entregar la energía. Este trabajo identifica la energía y las emisiones correspondientes a la extracción, potabilización y distribución de agua potable para vivienda y otros edificios, utilizando el caso de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires, CABA y GBA.

Varios estudios cuantifican la demanda de agua para producir materiales [8], conocida como ‘agua imbuida’, ‘agua virtual’ o ‘huella hídrica’ de los procesos de cultivo, producción y fabricación. La Norma ISO 14046:2014 [9] y Hoekstra et al [10] indican la metodología para establecer esta variable. Los siguientes datos del agua imbuida de materiales son indicativos de la importancia de este concepto, especialmente en el marco del cambio climático y el calentamiento global, dada la creciente escasez prevista en zonas con déficit hídrico, con mayor variabilidad del régimen de lluvias o dependencia en agua de deshielo. Por ejemplo, se requieren 15 m<sup>3</sup> de agua para producir 1 kg de carne (riego, alimentos, limpieza, etc.), 24 m<sup>3</sup> para 1 kg de chocolate, 0,2 a 0,3 m<sup>3</sup> para 1 kg de papel, y 1,5 m<sup>3</sup> para 1 kg de harina de trigo

[10. 11]. Cabe notar que los materiales de la construcción también requieren agua para su fabricación,

En este trabajo se plantea la relación inversa, analizando los recursos energéticos directos necesarios para suministrar agua potable, a fin de definir la energía imbuida de agua que se suministra a las viviendas y otras edificaciones, evaluar su incidencia en la demanda energética del sector y estimar su impacto ambiental.

## 2. OBJETIVOS

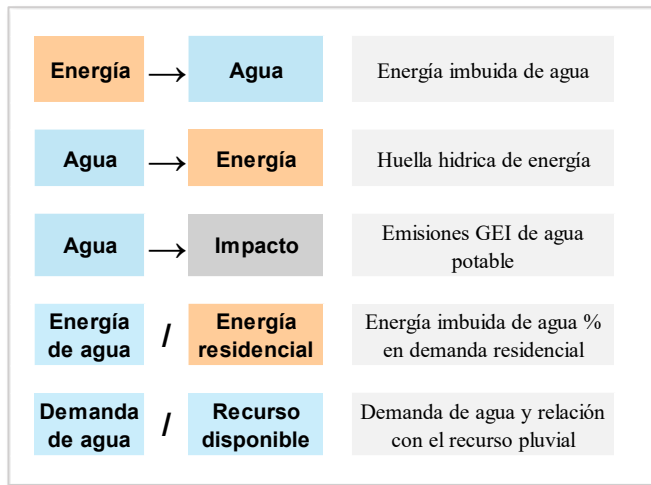
Este trabajo analiza distintos impactos del agua potable, la cantidad de energía necesaria para su producción y los impactos generados en ese proceso. Se establece también el caudal de agua necesaria para generar energía eléctrica en centrales hidroeléctricas y el agua perdida en el proceso de esta generación. Además, se indican los impactos de GEI, gases efecto invernadero, debido al uso de energía y las emisiones adicionales producidas por el tratamiento de aguas servidas. Finalmente, se estima la incidencia del agua en la matriz energética en el sector residencial y se analiza la posibilidad de aprovechar agua de lluvia en vivienda de baja altura y en conjuntos de baja densidad para reducir los impactos.

En ese contexto, el trabajo analiza y establece las siguientes relaciones entre la demanda de agua potable y energía en la edificación, Figura 1:

- **Huella energética o energía imbuida del agua:** es la demanda de energía para extraer, potabilizar y distribuir agua en kWh/m<sup>3</sup>. Este trabajo incluye la energía para tratar las aguas servidas, un resultado del uso de agua en la edificación.
- **Volumen de agua para generar energía hidroeléctrica:** Aquí se adopta uno de dos posibles criterios:
  - Criterio 1:** el número de metros cúbicos de agua para generar un kilowatt/hora en una central hidroeléctrica, con los valores netos, metros cúbicos que pasan por turbinas, y bruto, el volumen total que pasa por turbinas y vertedores, sin pérdida de agua, con pérdida de su energía potencial.
  - Criterio 2:** el volumen de agua perdido en la generación de energía hidroeléctrica implica la reducción de agua disponible después de generar un kilowatt hora en una central hidroeléctrica, resultado de la evaporación de agua y el proceso constructivo.
- **Impacto ambiental del agua:** son los gases efecto invernadero emitidos en la provisión de agua potable y el tratamiento de aguas servidas.
- **Energía imbuida del agua en la matriz energética de la vivienda:** es la demanda de energía imbuida de agua usada en una vivienda comparada con la demanda de energía

convencional, por ejemplo, electricidad, gas y otros combustibles.

- **Balance hídrico:** es el potencial de responder a la demanda residencial promedio de agua de una unidad de vivienda, considerando la precipitación anual disponible según la superficie de captación disponible o la potencial ‘cosecha pluvial’.



**Figura 1.** Objetivos del trabajo: establecer la energía imbuída del agua, el agua imbuída de la energía, el impacto ambiental del agua, la energía imbuída del agua como proporción de los servicios energéticos entregados a la vivienda y la posibilidad de aprovechar el recurso pluvial.

### 3. METODOLOGÍA

La demanda de agua potable, la disponibilidad de agua dulce, el régimen hídrico y la disponibilidad de energía son muy variables geográficamente y la demanda de energía para potabilización depende de las condiciones locales. Así, este estudio analiza el caso de Buenos Aires, la Ciudad Autónoma y la Región Metropolitana, en la zona con agua suministrada por AySA, Aguas y Saneamiento Sociedad Anónima, Argentina.

En ese marco, este trabajo analiza la ‘energía imbuída’ EI, de agua potable, estimando la cantidad de energía necesaria para extraer, tratar y distribuir agua de red para consumo doméstico, basada en la información de la empresa AySA, responsable de la entrega de agua potable y tratamiento de aguas servidas [12,13]. La energía imbuída de agua presenta características distintas a la EI de materiales de construcción, dado que la EI de agua es un flujo medido en litros o metros cúbicos por día, mes o año, mientras la EI de los materiales corresponde casi totalmente a la etapa inicial de construcción. Por ello, el trabajo compara la EI de agua con la entrega gas y electricidad a través de las redes urbanas de energía convencional.

Los sistemas de potabilización y distribución urbana de agua integran los conocimientos provenientes del análisis biológico y químico, combinado con la tecnología hidráulica de canalización y bombeo, inicialmente con máquinas a vapor, y hoy con bombas eléctricas. En Buenos Aires, las primeras grandes plantas urbanas de tratamiento utilizaron agua proveniente directamente del Río de la Plata, suplementándolo con agua de pozo en zonas suburbanas, fuera de la red inicial de distribución de agua potable. Por otro lado, las aguas servidas urbanas, originalmente depositadas en arroyos y el mismo Río de la Plata, fueron conducidas a la planta de tratamiento en Berazategui y, posteriormente, a una planta adicional en Florencio Varela. En zonas suburbanas, fuera de la red cloacal, se recibían las aguas servidas en pozos negros o cámaras de tratamiento anaeróbico en cada lote. Hoy, la mayoría de los consumidores en la zona urbanizada cuentan con suministro de agua potable y cloacas, con un 96 % de cobertura de agua potable y 87 % de cloacas [13], Tabla 1.

Cabe notar que, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, los principales consumidores de energía eléctrica son el Gobierno Nacional, el Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la Universidad de Buenos Aires, en todos los casos con múltiples edificios y puntos de suministro. Sin embargo, en la región metropolitana (incluyendo la Ciudad Autónoma), AySA es el principal consumidor de energía eléctrica con una demanda total de 784.867 MWh durante 2022 y 803.00 en 2023 [12 y 13]. En 2017, AySA contaba con 1248 puntos de suministro, que aumentó a 1509 en 2022. Según el Informe Anual 2022 [12], 10 % del presupuesto de AySA total corresponde a la adquisición directa de energía, sumando la energía renovable propia y energía indirecta en rubros tales como mantenimiento de las redes, servicios contratados y transporte de personal, a los cuales se agrega la energía imbuída de los insumos, especialmente cloro y otros químicos.

**Tabla 1.** Usuarios registrados, servicio de agua potable y desagües cloacales, Región Metropolitana de Bs.As. y CABA, 2022.

Servicio	Usuarios	%
Agua potable y desagües cloacales	3.021.388	79,50%
Solamente agua potable	622.165	16,40%
Solamente desagües cloacales	156.350	4,10%
Total servicio de agua potable	3.643.553	95,90%
Total servicio de desagües cloacales	3.177.738	85,60%
TOTAL	3.799.903	100%

Elaboración propia con datos de AySA [12]

En Argentina, la Ley Nacional 27191/15 exige que los grandes consumidores de energía eléctrica obtengan una proporción del total de fuentes renovables, ya se trate de instalaciones propias o de terceros. El Reporte de Sustentabilidad 2023 de AySA [13] indica la participación de

energía renovable en el suministro total de energía eléctrica de la empresa, que proviene de tres fuentes:

- generación de energía eléctrica con instalaciones fotovoltaicas propias.
- contratación de energía renovable de proveedores externos.
- energía renovable contratada a través de CAMMESA, Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima.

AySA cuenta con 25 contratos de suministro de energía renovable, de los cuales 11 corresponden a contratos directos y 14 en compras realizadas en forma conjunta a través de CAMMESA, la distribuidora mayorista de energía en Argentina. Estos últimos cubrieron el 19 % de la demanda del año 2022 con una leve reducción en 2024 por la baja potencia del viento. Actualmente, AySA planifica aumentos adiciones de energía renovable. En total, el suministro anual de energía eléctrica renovable fue 83.665 MWh, superando el mínimo legal de 18 % según AySA [12]. Cabe aclarar que las fechas para cumplir con el mínimo de 18 % fueron demoradas como resultado del impacto del COVID y la situación económica. Los contratos de compra de energía renovable resultan económicamente favorables debido al precio estable y un valor medio significativamente menor que el precio vigente de CAMESSA [14].

La Tabla 2 indica la energía eléctrica utilizada para extraer, potabilizar y distribuir agua potable para los consumidores con conexión a red en el área del servicio de AySA, con valores totales y parciales para la producción y distribución de agua potable y el transporte y tratamiento de aguas cloacales.

Cabe aclarar que casi 83 % corresponde a agua potable, el 15 % a aguas cloacales y el 1,7 % a la administración. Adicionalmente, AySA utiliza gas de red, con 56 puntos de suministro, cantidad muy reducida que corresponde principalmente a calefacción, agua caliente, cocción en edificios administrativos y consumo en laboratorios.

**Tabla 2.** Energía eléctrica utilizada para potabilizar y bombear agua potable y tratar aguas servidas, 2022.

Uso de energía eléctrica	MWh	%	%
Energía convencional	701.202	100%	
Energía renovable contratada	83.665	10,6%	
Energía renovable propia	30.773	4,4%	
Energía renovable entregada	26.646	3,8%	
Total energía renovable	141.084	18,8%	
Producción de agua	326.669	41,6%	Potable
Transporte (bombeo y control)	321.700	41,2%	82,8 %
Transporte de aguas cloacales	66.352	8,4%	Cloacal
Tratamiento aguas cloacales	55,023	7,0%	15,4 %
Administración	13,091	1,7%	
Energía eléctrica total	784.867	100,0%	

Fuente: AySA [12 y 13] La energía renovable entregada corresponde a la proporción que entrega CAMMESA sin contrato directo.

La población del área de concesión de AySA corresponde al 33 % de la población total de Argentina, mientras que la población con servicio de agua potable de AySA alcanza 25 %. Cabe notar que las estadísticas de AySA se refieren al ‘Área de Concesión’ que no coincide exactamente a la delimitación de AMBA, Área Metropolitana de Buenos Aires, sumado a la jurisdicción de CABA. Tampoco coincide con la zona censal de los 28 Partidos de Buenos Aires del INDEC [15]. Por lo tanto, se ha considerado un total de 14.975.514 habitantes en el área de concesión de AySA, donde el 75 % cuenta con servicio de agua potable. La población total con servicio de agua potable en 2022 fue de 11.238.106 habitantes, con un promedio de 3,36 personas por conexión residencial, mientras que el número de personas por hogar, según el INDEC, es 2,8 debido a la diferencia entre la definición de ‘conexión’ de agua y ‘hogar’, la unidad censal. Adicionalmente, cabe aclarar que el área de concesión de la distribuidora de agua no coincide exactamente con la zona de cobertura de las empresas distribuidoras de gas o electricidad.

AySA produce 5199895 m<sup>3</sup> de agua potable por día y entrega 792 litros por día a cada usuario residencial en la zona de cobertura con 235 litros de consumo por persona, Tabla 3.

Esta cifra excluye el 40 % de consumo no autorizado, no comercializado, con pérdidas de cañerías y tareas de mantenimiento, descargas controladas y extracción sin cargo por bomberos, riego permitido, y entrega sin cargo a municipalidades [12]. En 2022, el volumen promedio de agua suministrada por AySA en total fue 5.199.895 m<sup>3</sup>/día.

En 2023 presentaba un valor similar, con una importante proporción por pérdidas, y solamente 3.110.851 m<sup>3</sup>/día corresponde a agua potable entregada a los usuarios.

**Tabla 3.** Número de usuarios con servicio de agua, 2022.

Categoría de usuario	Numero	%	Volumen m <sup>3</sup>
Residencial (con tarifa social)	3.338.417	86,8%	2644784
Tarifa social residencial	163.301	4,3%	
No residencial	348.431	9,2%	466067
Tarifa social no residencial, comedores, clubes, etc.	3.540	0,1%	
Baldío	113.055	3,0%	
TOTAL			3.110.851
Suministro de agua medida	770.140	20,3%	
Suministro sin medidor	3.029.763	79,7%	

Fuente: AySA [12].

La energía eléctrica adquirida por AySA en el mismo año fue 784.867 MWh. Así, la energía necesaria para extraer, potabilizar y distribuir un m<sup>3</sup> de agua resulta 0,414 kWh. Sin

embargo, la cantidad de energía para entregar un m<sup>3</sup> a los consumidores, tomando en cuenta las pérdidas, es 0,691 kWh.

Con 3,36 personas por conexión residencial y un consumo de 235 litros por persona, se obtiene una demanda anual de 59,5 kWh por persona para el servicio de agua potable. Con los datos del BEN, el Balance Energético Nacional de Argentina [16] y la población según INDEC [15], se obtiene una demanda de energía eléctrica del sector residencial de 704,5 kWh por persona por año.

De este modo, la demanda de energía eléctrica para entregar agua representa 8 % adicional en la demanda de energía eléctrica del sector residencial.

### Emisiones

La energía eléctrica utilizada para extraer, potabilizar, y distribuir agua genera emisiones de gases efecto invernadero. El factor de emisiones de un kWh de energía eléctrica es 0,429 kg de CO<sub>2e</sub> [17], considerando la energía imbuída de agua, la energía eléctrica utilizada en el procesamiento de un metro cubico emite 0,295 kg de CO<sub>2e</sub>. Con una demanda de energía eléctrica de 59,5 kWh por persona por año, las emisiones GEI correspondientes al suministro de agua son 25.5 kg de CO<sub>2e</sub>.

Dado que AySA genera o contrata una proporción de su energía de fuentes renovables, el impacto ambiental del uso de agua disminuye a 21,7 kg por persona por año. Estas emisiones incluyen la electricidad utilizada para tratar y bombear aguas cloacales. Sin embargo, es necesario sumar las emisiones generadas en las plantas de tratamiento con importantes emisiones de metano, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno [18].

Estas emisiones están incluidas en el inventario nacional de gases efecto invernadero en el rubro 'Tratamiento y eliminación de aguas residuales' [18] y corresponde a aproximadamente al 4 % de las emisiones nacionales, excluyendo agricultura.

### Huella hídrica de la energía.

Adicionalmente a la evaluación de la huella energética de agua y sus impactos, este estudio considera la relación inversa, la huella hídrica de la energía. La primera mide la energía eléctrica en kilowatt horas, necesaria para suministrar un litro o metro cubico de agua de agua potable, mientras que la segunda es el volumen de agua necesario para generar un kilowatt hora de energía eléctrica.

En Argentina, la energía hidroeléctrica, excluyendo la mini hidráulica que corresponde a la categoría 'energía renovable nueva', suministra 20,8 % de la energía eléctrica disponible [16]. La producción en las 8 represas hidroeléctricas más grandes de Argentina alcanza 86 % de hidroelectricidad del país incluyendo las centrales hidroeléctricas binacionales de Salto Grande y Yaciretá [13], Tabla 4. La cantidad de agua

necesaria para generar energía eléctrica en una represa hidroeléctrica depende en parte de la diferencia de nivel.

Las represas en ríos de llanura con limitada caída, tales como Yaciretá y Salto Grande, requieren 20 a 30 m<sup>3</sup> de agua para generar un kWh, mientras Alicurá y Piedra de Águila requieren aproximadamente 3,7 m<sup>3</sup> para generar la misma cantidad de energía eléctrica. Si bien la variable relevante es la energía potencial de un volumen de agua, en este caso se considera la cantidad de agua necesaria para generar electricidad, según el criterio de agua imbuída de Mannan y Al-Ghamdi [8] o 'agua virtual' de Antonelli y Sartori [21]. Otra preocupación a atender es la tendencia de reducir el caudal y la cantidad de agua debido al impacto del calentamiento global en agua de deshielo proveniente de la Cordillera [16].

Así, el volumen de agua corresponde a la cantidad neta que pasa por las turbinas, sin considerar el volumen que atraviesa el vertedor, lo cual duplica el volumen aproximado de agua. En promedio, un metro cubico de agua genera 0,128 kWh, considerando el promedio ponderado por el aporte de energía de cada represa, Tabla 4, o 0,064 kWh con el volumen total. Cabe notar que el agua que pasa por las turbinas no se pierde y se encuentra disponible aguas abajo para su uso.

Vanham et al [22] (2019) utiliza otro criterio para hidroelectricidad, considerando que la cantidad de agua utilizada y su energía potencial corresponde a las pérdidas por evaporación y a la construcción de la represa, las turbinas y componentes complementarios. La Tabla 5 indica la huella hídrica de varias fuentes en Europa.

En Argentina, cabe notar que las represas de la Patagonia, Alicurá, Piedra de Águila, Pichi, Chocón y Cerro Colorado, se encuentran en clima desértico con fuerte radiación solar y altos niveles de evaporación. Además, la misma cantidad de agua pasa por varias represas, mientras que Yaciretá y Salto Grande se localizan en zonas de clima cálido húmedo con menor tasa de evaporación, aunque las superficies de agua en las represas son extensas. Así, se considera que la evaporación promedio nacional es similar o mayor a los valores europeos, con una pérdida de agua dulce (también denominado 'agua azul') con aproximadamente 0,033 m<sup>3</sup> de agua utilizada cada kWh [20].

**Tabla 4.** Volumen de agua y generación eléctrica de las principales represas de Argentina.

Represa	m <sup>3</sup> /s	millones m <sup>3</sup> /año	GWh /año	kWh /m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> / kWh
Alicurá	241,9	7607,6	2096	0,276	3,63
Piedra de Águila	619,4	19.479,8	5174	0,266	3,8
Pichi	615,7	19.363,5	1060	0,055	18,3
Chocón	465,7	14.646,1	2182	0,149	6,7
Cerro Colorado	276,5	8.695,8	1583	0,182	5,5
Futaleufú	265	8.334,1	2945	0,353	2,8
Yaciretá *	11574	36.399,8	18033	0,05	20,2
Salto Grande *	3216	10.114,1	3190	0,032	31,7

Fuente: elaboración propia con datos de CAMESSA, 2023. [18]

\* Nota: 50 % de la generación de las represas binacionales corresponden a Argentina, aunque Uruguay y Paraguay venden a Argentina una proporción de su propia energía.

**Tabla 5.** Huella hídrica de distintos fuentes de energía en Europa.

Tipo de energía	m3 / TJ	m3 / kWh	Comentarios
Eólica	1	0	Mínima demanda de agua. materiales
Solar	117	0,0004	Materiales y construcción
Gas	136	0,0005	Uso, agua de enfriamiento
Nuclear	627	0,0023	Uso, agua de enfriamiento, combustible
Hidro	9114	0,0328	Evaporación de la represa y construcción

Fuente: elaboración propia con datos de Figura 1 de Vanham et al [22]

Las centrales térmicas y nucleares a gas también requieren grandes cantidades de agua para enfriar el vapor y, si bien no se altera la calidad, el aumento de la temperatura puede afectar los ecosistemas acuáticos, mientras que en las represas hidroeléctricas la temperatura del agua no cambia significativamente, aunque el agua puede perder sólidos en suspensión reduciendo nutrientes disponibles aguas abajo.

#### Oportunidades del Uso Racional de Agua.

El suministro de agua potable en Buenos Aires, Argentina, con una entrega de 235 litros por persona por día, es elevada comparado con otros países de la región y promedios mundiales o recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. La Tabla 6 presenta valores indicativos del consumo diario en diferentes países, con el promedio mundial estimado, valores recomendados y valores mínimos indicados por el mismo organismo [23].

Estos valores indican un importante potencial para reducir la demanda de agua en el sector residencial del área en estudio, con los correspondientes beneficios económicos y ambientales.

**Tabla 6.** Demanda de agua por persona

Jurisdicciones	Litros / persona día	m <sup>3</sup> /año por persona	Notas y referencias
Estados Unidos	382	138,7	
Argentina (AMBA)	(bruta) 336 (neta) 235	122	Datos de AySA [12]
Sudáfrica	233	84,6	Clima similar a Argentina
Ciudad de Panamá	198		Residencial, 2008
Brasil	190	69	
Perú	180	65,3	
Reino Unido	142	51,5	Meta: 119 litros/día
España	137	49,7	
China	90	32,7	
Promedio mundial	173	62,8	
Recomendación OMS	120	43,6	UN-OHCHR [23]
Mínimo, salud OMS	50 - 100	18,2–36,4	UN-OHCHR [23]
Vivienda del autor	191	69,3	Con medidor (2023)

Datos indicativos de distintas fuentes, excluyendo agua no residencial.

## 4. DISCUSIÓN

El caso de Buenos Aires presentado en este trabajo corresponde a una zona geográfica plana con muy limitada variación de altimetría y favorable acceso a agua dulce. La demanda de agua será significativamente mayor en zonas con limitado acceso a recursos hídricos que requieran bombeo por tener recursos hídricos a mayor profundidad o distancia, mientras una mayor concentración de sales o polución requiere mayor energía de procesamiento. Si bien actualmente la proporción de energía imbuida de agua en Buenos Aires es relativamente reducida, adoptar medidas de mayor eficiencia energética y reducción de emisiones pueden mejorar el valor significativamente. En otras regiones con topografía desfavorable y mayor demanda de potabilización, la energía imbuida de agua ya presenta mayor importancia.

La comparación con estudios en otras regiones se complica debido a las variaciones en la eficiencia de la infraestructura, las condiciones de redes de distribución, la disponibilidad y calidad de agua, y la variación de la topografía y condiciones climáticas.

Los criterios adoptados también varían, generando importantes diferencias en los valores. Por ejemplo, según Melton [24] la energía total utilizada para entregar y tratar agua potable a nivel mundial es alrededor de 3 a 5 %, mientras la Alianza para el Ahorro de Agua [25] indica una cifra menor de 2-3 %. A su vez, Negi y Chandel, en un estudio de energía imbuida en India [26] obtienen proporciones similares a este estudio entre energía de la entrega de agua potable y el tratamiento de agua servidas.

Sin embargo, las emisiones son mayores debido al uso de cámaras sépticas, y un mejor trabamiento puede reducir las emisiones, pero aumentan el uso de energía.

Hammond y Jones [27] en su amplio estudio de la energía imbuida de materiales de construcción, con datos de fuentes europeas, proponen un valor promedio de 0.278 kWh, pero no incluye la energía de tratamiento. Según un estudio de la Universidad de Florida, Estados Unidos, la energía imbuida es 2,906 kW/m<sup>3</sup>, valor 4 veces mayor al presente estudio, principalmente debido a la alta demanda de energía para bombeo con extracción de pozos de mayor profundidad o con importantes diferencias de nivel, sumado a tratamientos de potabilización más complejos para eliminar nitrógeno y otras formas de polución [25].

Otro factor que no se incluye en este análisis es la demanda adicional de energía requerida para bombeo en la edificación, especialmente edificios en altura. Si bien esta energía eléctrica está incluida en las facturas de inmuebles unifamiliares, en propiedades multifamiliares o condominios está comprendido como parte de las expensas comunes, difícil de identificar y cuantificar en relación a cada unidad de vivienda sin medidor.

En el futuro, tres tendencias pueden dificultar el suministro de agua potable en zonas urbanas:

- el crecimiento del área urbana y la población en ciudades.

- la tendencia de aumentar la demanda de agua por persona.
- la mayor variabilidad en el régimen de lluvias relacionadas con el cambio climático.

Todos estos factores pueden inducir mayor demanda de energía para extraer, potabilizar y distribuir agua, aumentando la energía imbuida del agua y los correspondientes impactos ambientales. También se puede prever un aumento en la competencia entre distintas demandas de agua, especialmente la destinada a usos urbanos y cultivos.

Finalmente, este estudio compara la demanda de agua de una vivienda con el recurso de agua pluvial. Como indica la Tabla 6, en la Región Metropolitana de Buenos Aires la demanda anual de agua potable del sector residencial es, en promedio, 235 m<sup>3</sup> por persona. Una vivienda con una instalación separada de agua no potable, utilizada para la descarga de inodoros y riego de jardines, puede reducir la demanda de agua potable en aproximadamente 30 %. Así, en una vivienda unifamiliar con 4 personas, la demanda para usos no potables es aproximadamente 70 m<sup>3</sup> por año.

En Buenos Aires, con una precipitación anual de 1250 mm en promedio, y superficie de captación en un techo de 56 m<sup>2</sup>, se puede satisfacer la demanda, pero es necesario aumentar la superficie para responder a la variabilidad en el tiempo, la evaporación, el descarte de la primera recolección para reducir polvo arrastrado, etc. Aun con un depósito de agua de gran volumen para acumular agua de lluvia intermitente y un techo de 100 m<sup>2</sup>, resultará difícil alcanzar una reducción de 20 % de la demanda de agua potable. En este caso, dado el costo de un sistema separado, los requisitos de mantenimiento y la amplia disponibilidad de agua dulce, el aprovechamiento de la cosecha pluvial presenta limitada factibilidad económica.

Adicionalmente, las autoridades municipales no priorizan los sistemas duales de agua, potable y no potable, en el sector de vivienda, debido a posibles problemas de conexiones equivocadas en reparaciones y mantenimiento. En edificios industriales, con mano de obra calificada de mantenimiento, manuales de funcionamiento, instalación de cañerías de distintos colores para identificar diferentes sistemas y el uso de colorantes para el suministro de agua pluvial no potable, se logra mayor posibilidad de aceptación y factibilidad de uso.

## 5. CONCLUSIONES

Los principales resultados de este estudio, Tabla 7, introducen nuevos factores en el análisis de la demanda de energía del hábitat construido. Adicionalmente a la energía en uso y la energía imbuida en los materiales de construcción del sector residencial y de otras edificaciones, se agrega la energía imbuida de agua potable.

A diferencia de la energía imbuida de los materiales de construcción, que ocurre en la etapa inicial del proceso constructivo, el uso de agua es constante durante la vida útil del inmueble, dada la demanda continua con las consecuentes emisiones de gases efecto invernadero.

En la zona de concesión de AySA, la demanda de energía eléctrica representa un componente significativo en la matriz de energía eléctrica. En ese marco, este trabajo aplica una metodología para estimar la energía imbuida de agua potable en la zona de distribución de AySA en la Región Metropolitana de Buenos Aires, la cual representa el 33 % de la población total del país.

Tabla 7. Resultados principales del estudio.

Variable	Resultados
Energía imbuida de agua, CABA y GBA (AySA) con pérdidas, etc.	0,414 kWh /m <sup>3</sup>
Energía imbuida de agua, CABA y GBA (AySA) neta.	0,691 kWh / m <sup>3</sup>
Agua imbuida de energía, grandes represas hidroeléctricas promedio, Argentina.	7,8 m <sup>3</sup> /kWh
Agua imbuida de energía, represas hidroeléctricas de llanura promedio.	20 a 30 m <sup>3</sup> /kWh
Agua imbuida de energía, represas hidroeléctricas de Patagonia promedio.	3,7 m <sup>3</sup> /kWh
Perdida de agua por evaporación en represas hidroeléctricas (Europa).	0,033 m <sup>3</sup> /kWh
Emisiones GEI de agua potable, por uso electricidad promedio nacional .	0,17 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
Emisiones GEI de agua servida total, electricidad y metano, etc.	0,20 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
Energía imbuida de agua como % de la demanda eléctrica y total en vivienda.	8 % energía eléctrica 2 % energía total

Dado que la cantidad de energía necesaria para extraer, potabilizar y distribuir agua potable es 252 kWh por metro cúbico, en promedio, la energía imbuida de agua potable neta representa casi 2 % de la energía total entregada al sector residencial y 8 % de la energía eléctrica.

Este porcentaje crece en viviendas con mayor eficiencia, por ejemplo, en unidades con 30 % de reducción de la demanda de energía convencional. Este valor fue obtenido de estudios realizados en conjuntos de vivienda social en 8 regiones del país con distintas condiciones bioambientales, mostrando que el porcentaje de la huella energética de agua aumenta a 3 % de la energía entregada o 10 % de la energía eléctrica.

Como dato comparativo, la demanda de energía imbuida de agua en los Estados Unidos alcanza 3 a 4 % del consumo total de energía eléctrica, pero difiere la matriz energética.

El estudio también analiza la huella hídrica de energía, factor de creciente preocupación debido a posibles cambios en la disponibilidad del recurso como resultado del cambio climático y el calentamiento global. A tal fin se consideran dos criterios: 1. el volumen de agua necesaria para generar energía en las turbinas de centrales hidroeléctricas y 2. las pérdidas de agua debido a la evaporación en las represas. Dado que un metro cúbico de agua genera 0,128 kWh, se requieren 7,8 metros cúbicos para generar 1 kWh de hidroelectricidad. Al mismo tiempo, considerando las pérdidas de agua por evaporación, la reducción de agua dulce es aproximadamente 0,033 m<sup>3</sup> por cada kWh generado.

Este estudio evidencia la importancia de relacionar ambos recursos, energía y agua, indicando la necesidad de incluir la gestión del agua y adoptar medidas de uso racional en el marco de estrategias de diseño y construcción que contribuyan a reducir las emisiones de gases efecto invernadero y aportar al desarrollo de un hábitat edificado más sustentable.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de investigaciones de la Maestría ‘Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo’ y del Centro de Investigación Hábitat y Energía, de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.

## REFERENCIAS

- [1] Naciones Unidas (2010) El derecho humano al agua y el saneamiento, Resolución 64/292 adoptado por la Asamblea General el 28 de julio de 2010.
- [2] Naciones Unidas (2015) Agenda 2030, Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015, Naciones Unidas, Nueva York. [Online] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> [enero 3, 2025].
- [3] Naciones Unidas (2019) Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas, Nueva York, [Online] [https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019-Spanish.pdf?gl=1\\*juc3lu\\*ga\\*MTYxMTMxNDk1NC4xNjI3NjYzNjc2\\*ga\\_TK9BQL5X7Z\\*MTcwNTc2MjY5Ni4xLjEuMTcwNTc2Mjc4MS4wLjAuMA](https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019-Spanish.pdf?gl=1*juc3lu*ga*MTYxMTMxNDk1NC4xNjI3NjYzNjc2*ga_TK9BQL5X7Z*MTcwNTc2MjY5Ni4xLjEuMTcwNTc2Mjc4MS4wLjAuMA)
- [4] USGBC (2020) LEED v4.1 Building Design and Construction Rating System - July 2020, United States Green Building Council, Washington. [Online] <https://www.usgbc.org/resources/leed-v41-building-design-and-construction-rating-system-july-2020> [enero 3, 2025].
- [5] BRE (2021) BREEAM International New Construction 6, Building Research Establishment, Watford. (Pagina 255) [Online] <https://breeam.com/standards/technical-manuals-form> [enero 3, 2025].
- [6] DOE (2017) A Common Definition for Zero Energy Buildings, US Department of Energy. Washington D.C. [Online] <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/A%20Common%20Definition%20for%20Zero%20Energy%20Buildings.pdf> [enero 3, 2025].
- [7] Chastas, P., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and Environment*, 105, 267–282. [Online] <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.040> [enero 3 2025].
- [8] Mannan, M, Al-Ghamdi S. G. (2020) Environmental impact of water-use in buildings: Latest developments from a life-cycle assessment perspective, *Journal of Environmental Management*, Volume 261, 1 May 2020, 110198.
- [9] ISO (2014) ISO Standard 14046:2014, Environmental Management-Water Footprint-Principles, Requirements and Guidelines; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- [10] Hoekstra, A.Y., Chamagain, A., Aldana, M.M., y Mekonnen, M.M. (2021) Manual de evaluación de la Huella hídrica, AENOR Internacional, S.A.U. Madrid.
- [11] Herrero, A.C. (S.F.) Huella Hídrica, [Online] [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/7\\_huella\\_hidrica.docx](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/7_huella_hidrica.docx) [enero 3, 2025].
- [12] AySA (2022). Informe de Sustentabilidad 2022, Tomo 1.1, Aguas y Saneamiento Argentina, CABA. [Online] [https://www.aysa.com.ar/media-library/usuarios/informacion\\_util/informes\\_de\\_sustentabilidad/AySA\\_RS2022\\_VF.pdf](https://www.aysa.com.ar/media-library/usuarios/informacion_util/informes_de_sustentabilidad/AySA_RS2022_VF.pdf) [enero 3, 2025].
- [13] AySA (2024) Reporte de Sustentabilidad 2023, Aguas y Saneamiento Argentina, CABA. [Online] [https://www.aysa.com.ar/media-library/usuarios/informacion\\_util/informes\\_de\\_sustentabilidad/RSE\\_AySA\\_2023.pdf](https://www.aysa.com.ar/media-library/usuarios/informacion_util/informes_de_sustentabilidad/RSE_AySA_2023.pdf) [enero 3, 2025].
- [14] CAMMESA (2024) Informe Anual 2023, Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima, CABA, [Online] <https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/Informe%20Anual/2024/Informe%20Anual%202023.pdf> [enero 3, 2025].
- [15] INDEC (2024) Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022: Región Metropolitana Buenos Aires. Instituto Nacional de Estadística y Censo, CABA, [Online] [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/censo2022\\_rmba.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/censo2022_rmba.pdf) [enero 3, 2025].
- [16] Ministerio de Economía (2022) Balance Energético Nacional 2022, [Online] [https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion\\_del\\_mercado/publicaciones/energia\\_en\\_gra/balances\\_2022/balance\\_2022\\_V0\\_horizontal.xlsx](https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gra/balances_2022/balance_2022_V0_horizontal.xlsx) [enero 3, 2025].
- [17] SE (2024) Cálculo del Factor de Emisión de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica, Secretaria de Energía de la Nación, CABA. [Online] <https://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica> [enero 3, 2025].
- [18] Parravicini, VV., Svardal, K. & Krampe, G. (2016) Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants, *Energy Procedia*, Volume 97, 2016, Pages 246-253.
- [19] MAYDS. 2023. Quinto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones, [Online] <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/5to%20Informe%20Bienal%20de%20Actualizaci%C3%B3n%20de%20la%20Rep%C3%BAblica%20Argentina.pdf> [enero 3, 2025].
- [20] CAMMESA (2023) Resumen Ejecutivo, Principales Variables MEM, Enero a Diciembre 2022 vs 2021, Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima, CABA. [Online] <https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/NovedadesHome/Resumen%20Ejecutivo%20Ene%20a%20Dic%202022%20vs%202021.pdf> [enero 3, 2025].
- [21] Antonelli, M., Sartori, M. (2015) Unfolding the Potential of the Virtual Water Concept. What Is Still Under Debate?

- Environmental Science & Policy, Volume 50, June 2015, Pages 240-251
- [22] Vanham, D., Medarac, H. Schyns, J., Hogeboom, R. y Magagna, D. (2019) The consumptive water footprint of the European Union energy sector, Environmental Research Letters, Volume 14, Number 10
- [23] UN-OHCHR (2010) (UN-HABITAT), The Right to Water, Fact Sheet No. 35. 2010, World Health Organization & Office of the High Commissioner for Human Rights (OHCHR), United Nations Human Settlements Programme. [Online] <http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35en.pdf> [enero 3, 2025].
- [24] Malton P.J. (2015) The Embodied Energy of Tap Water, Build Green, Volume 24, Issue 8. [Online] <https://www.buildinggreen.com/primer/embodied-energy-tap-water> [enero 3, 2025].
- [25] ASE (2002) Watergy: taking advantage of Untapped Energy and water efficiency opportunities in Municipal Water systems, Alliance to Save Energy, Washington DC. [Online] [https://www.ase.org/sites/ase.org/files/watergy\\_2002.pdf](https://www.ase.org/sites/ase.org/files/watergy_2002.pdf) [enero 3, 2025].
- [26] Rajhans Negi, Munish K. Chandel (2022) Assessment on embodied energy and greenhouse gas emissions in urban water system from life cycle perspective: A typical case of India, Sustainable Cities and Society, Volume 86, 2022, 104152, [Online] <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104152>
- [27] Hammond, G. y Jones, C. (2011) Inventory of Carbon & Energy (ICE), Version 2.0, Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, University of Bath. [Online] <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html> [enero 3, 2025].
- [28] SMN (2024) Estadísticas Climatológicas Normales - período 1991-2020, Servicio Meteorológico Nacional, CABA. [https://ssl.smn.gob.ar/dpd/observaciones/estadisticas\\_normales\\_9120.zip](https://ssl.smn.gob.ar/dpd/observaciones/estadisticas_normales_9120.zip) [enero 3, 2025]. Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2024 / Aceptación: 15 de enero de 2025.

# Integración de enfoques de planificación y diseño para el desarrollo sostenible de infraestructura pública y privada a través de un análisis global: revisión sistemática de literatura

Integration of planning and design approaches for the sustainable development of public and private infrastructure through a global analysis: systematic literature review

*Lucía de Fátima Velásquez Prieto*<sup>1a</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Ciencias y Artes de América Latina, Perú

<sup>1a</sup> [u2024224840@crear.ucal.edu.pe](mailto:u2024224840@crear.ucal.edu.pe)

<sup>1a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3204-2558>

Fecha de recepción: 18 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 22 de enero de 2025

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6852>



**RESUMEN:** La creciente relevancia de enfoques que integren la planificación y diseño para el desarrollo sostenible de infraestructura pública y privada en un contexto global, responde a desafíos como la urbanización, el cambio climático y la escasez de recursos. Buscando optimizar la sostenibilidad y eficiencia de proyectos al considerar impactos ambientales, sociales y económicos. El objetivo del estudio es explorar cómo los enfoques integrados ya mencionados pueden mejorar la sostenibilidad y eficiencia de proyectos de infraestructura a nivel global. Específicamente, busca identificar y analizar tendencias actuales, evaluar el impacto de estos enfoques en la sostenibilidad de los proyectos y sintetizar la evidencia disponible para decisiones futuras. Se realizó una revisión sistemática de literatura, seleccionando artículos según criterios rigurosos para garantizar la calidad e importancia de la información. Se utilizó un enfoque mixto de análisis cualitativo y cuantitativo para abordar la integración de enfoques en la planificación y diseño. Los resultados revelan que los enfoques integrados contribuyen a la sostenibilidad y eficiencia en proyectos de infraestructura. La adopción de prácticas colaborativas y la consideración de múltiples perspectivas durante todo el ciclo de vida del proyecto pueden superar barreras y mejorar la implementación de infraestructura sostenible. Se concluye que la integración de dichos enfoques es esencial para responder a los desafíos de sostenibilidad a nivel mundial. Se recomienda una mayor investigación y un enfoque holístico que incluya políticas efectivas y una planificación estratégica para mejorar continuamente la práctica y la teoría en este campo vital.

**PALABRAS CLAVES:** Análisis global, desarrollo sostenible, diseño, infraestructura pública, planificación sostenible.

**ABSTRACT:** The increasing relevance of approaches that integrate planning and design for the sustainable development of public and private infrastructure on a global scale responds to challenges such as urbanization, climate change, and resource scarcity. This aims to optimize project sustainability and efficiency by considering environmental, social, and economic impacts. The objective of the study is to explore how the aforementioned integrated approaches can enhance the sustainability and efficiency of infrastructure projects globally. Specifically, it seeks to identify and analyze current trends, evaluate the impact of these approaches on project sustainability, and synthesize available evidence for future decisions. A systematic literature review was conducted, selecting articles

based on rigorous criteria to ensure the quality and importance of the information. A mixed approach of qualitative and quantitative analysis was used to address the integration of approaches in planning and design. The results reveal that integrated approaches contribute to sustainability and efficiency in infrastructure projects. Adopting collaborative practices and considering multiple perspectives throughout the project lifecycle can overcome barriers and improve the implementation of sustainable infrastructure. It is concluded that the integration of such approaches is essential to address sustainability challenges at a global level. Further research and a holistic approach are recommended, including effective policies and strategic planning to continuously improve practice and theory in this vital field.

**KEYWORDS:** Global Analysis, Sustainable Development, Design, Public Infrastructure, Sustainable Planning.

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano, el cambio climático y la escasez de recursos requieren enfoques integrados de planificación y diseño que optimicen la sostenibilidad y eficiencia de la infraestructura pública y privada. [1]. Los estudios actuales resaltan como las estrategias de planificación urbana disminuyen las brechas urbanas mejorando la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos [2]. Por lo tanto, la literatura existente destaca la necesidad de adoptar un enfoque más colaborativo y multidisciplinario que permita una mejor integración de los aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos en todas las etapas del ciclo de vida de la infraestructura [3]. La investigación en este campo ha demostrado que los enfoques integrados de planificación y diseño pueden contribuir significativamente a la mejora de la sostenibilidad y la eficiencia de los proyectos de infraestructura. Por ejemplo, se ha encontrado que las asociaciones público-privadas (PPP) pueden jugar un papel crucial en la promoción de prácticas más eficientes y sostenibles en la ejecución de proyectos de infraestructura [4]. Asimismo, se ha identificado que la adopción de enfoques colaborativos involucrando a múltiples partes interesadas, puede ayudar a superar barreras y promover la implementación exitosa de proyectos de infraestructura sostenible [5].

En resumen, la investigación actual subraya la importancia de integrar enfoques de planificación y diseño para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de la infraestructura pública y privada a nivel mundial. Este enfoque no sólo es relevante para la comunidad científica, sino también para la sociedad en general, ya que puede contribuir a la creación de entornos más resilientes, inclusivos y sostenibles para las generaciones presentes y futuras [6].

La literatura existente sobre la integración de enfoques de planificación y diseño para el desarrollo sostenible de infraestructura pública y privada ha demostrado un enfoque fragmentado en la comprensión y aplicación de estos conceptos. Si bien se han realizado numerosos estudios que abordan aspectos específicos de la sostenibilidad y eficiencia en proyectos de infraestructura, existe una falta de síntesis integral que integre los diversos enfoques y enfoques en una

perspectiva global [7], [8]. Las investigaciones previas han tendido a centrarse en casos de estudio específicos o en aspectos particulares de la planificación o el diseño, lo que ha limitado la comprensión holística de la relación entre estos elementos y su impacto en la sostenibilidad y la eficiencia de los proyectos de infraestructura [9]. Aunque existen análisis sobre asociaciones público-privadas y sostenibilidad urbana, falta una síntesis integral sobre planificación y diseño en infraestructura público-privada a nivel global [10]. Además, dado el rápido avance en este campo y la evolución de las prácticas y políticas relacionadas, se requiere una revisión que sintetice la literatura más reciente y proporcione una evaluación integral de las contribuciones existentes y las áreas de necesidad de investigación adicional [11], [12]. La falta de una síntesis integral de la literatura actual limita la comprensión y aplicación efectiva de enfoques integrados de planificación y diseño en proyectos de infraestructura a nivel mundial. Estas lagunas en el conocimiento pueden obstaculizar los esfuerzos para promover prácticas más sostenibles y eficientes en el desarrollo de infraestructura y pueden llevar a la subutilización de enfoques innovadores y mejores prácticas identificadas en la literatura existente [13]. Por ello, una revisión sistemática y actualizada de la literatura es fundamental para abordar estas lagunas y proporcionar una base sólida para la investigación futura y la toma de decisiones en el campo de la infraestructura sostenible [14].

El objetivo principal de este artículo es llevar a cabo una revisión sistemática de literatura con el propósito de explorar cómo los enfoques integrados de planificación y diseño pueden contribuir a mejorar la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos de infraestructura pública y privada a escala global. Para lograr el objetivo, se plantean cuatro objetivos específicos. Primero, identificar tendencias recientes en la integración de planificación y diseño en infraestructura pública y privada, destacando metodologías usadas en la literatura [15], [16]. Segundo, evaluar el impacto de estos enfoques en la sostenibilidad ambiental, social y económica mediante estudios empíricos y casos relevantes [17]. Tercero, analizar barreras en su implementación y proponer soluciones para fomentar prácticas más sostenibles [18], [19]. Cuarto,

sintetizar la evidencia para generar conocimiento práctico que apoye a tomadores de decisiones, profesionales y académicos [20], [21].

## 2. METODOLOGÍA

Los criterios de elegibilidad para esta revisión sistemática de literatura han sido seleccionados para garantizar la relevancia y la coherencia con los objetivos de investigación, los que podemos ver en la tabla 1. Por ello, se seleccionaron artículos científicos de revistas indizadas en inglés, publicados en los últimos cinco años, a fin de evitar la inclusión de estudios desactualizados que podrían no representar las tendencias actuales ni los desarrollos más relevantes en el estudio.

Por otro lado, los criterios de exclusión, detallados en la tabla 1, han sido delineados con el fin de mantener el objetivo de la investigación. La exclusión de artículos en idiomas distintos al inglés se justifica por la necesidad de mantener la coherencia lingüística y facilitar la comprensión y síntesis de la información para los investigadores involucrados en el estudio. Descartando aquellos trabajos que no aborden la integración de enfoques de planificación y diseño para la sostenibilidad de la infraestructura, con el objetivo de mantener la relevancia y coherencia temática en la selección de artículos (APA, 2020).

**Tabla 1.** Criterios de Elegibilidad

Criterios de inclusión	Criterio de exclusión
Artículos científicos publicados en revistas indizadas en inglés.	Artículos en idiomas distintos al inglés.
Artículos publicados en los últimos 5 años para asegurar relevancia actual.	Artículos publicados antes de los últimos 5 años para garantizar la actualidad de la información.
Enfoque en la integración de enfoques de planificación y diseño para proyectos de infraestructura pública y privada.	Trabajos que no abordan específicamente la integración de enfoques de planificación y diseño para la sostenibilidad de la infraestructura.
Documentos que presenten casos de estudio o análisis global de proyectos de infraestructura que aborden aspectos de sostenibilidad y eficiencia.	Documentos que se centren únicamente en aspectos técnicos o económicos sin considerar la sostenibilidad.
Artículos que proporcionen evidencia empírica o estudios de casos que demuestran el impacto de la integración de enfoques en la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos de infraestructura.	Publicaciones que no estén disponibles como acceso abierto para garantizar la accesibilidad de la información a todos los interesados.

La revisión de literatura se realizó utilizando a Scopus como base de datos principal, dado su amplio reconocimiento académico y enfoque multidisciplinario; filtrando y seleccionando artículos científicos pertinentes, lo que contribuye a la rigurosidad y exhaustividad del proceso de revisión (APA, 2020).

La selección de Scopus como la fuente exclusiva de información se justifica por varias razones. En primer lugar, Scopus cuenta con una extensa cobertura de revistas científicas de alta calidad, lo que garantiza el acceso a un amplio espectro de investigaciones relevantes para el tema de estudio. Además, al limitar la búsqueda a una sola base de datos, se minimiza el riesgo de sesgo de información y se simplifica el proceso de recopilación y análisis de datos, lo que contribuye a la eficiencia y coherencia del estudio. Asimismo, Scopus ofrece la opción de acceder a artículos de acceso abierto, lo que garantiza la disponibilidad de la literatura seleccionada para todos los interesados, promoviendo así la transparencia y la accesibilidad en la investigación científica (APA, 2020).

Se formularon términos de búsqueda específicos y combinaciones de estos para maximizar la exhaustividad y precisión de la búsqueda. Los términos de búsqueda incluyeron conceptos clave como "integrated approach", "sustainable development", "public-private partnerships", "sustainability assessment", "design integration", entre otros, que se consideraron relevantes para el tema de estudio (APA, 2020). Se realizaron múltiples combinaciones con dichos términos para abarcar diversas perspectivas relacionadas con la temática, como se ve en la tabla 2. Se priorizó la inclusión de términos directamente vinculados con la pregunta y los objetivos del estudio, garantizando la relevancia de los resultados (APA, 2020). De los 219 estudios identificados, se excluyeron 144 por no cumplir los criterios de inclusión, quedando finalmente 13 registros elegibles y pertinentes.

Además, se utilizó el gestor Mendeley para organizar los estudios seleccionados, recopilando datos clave como año de publicación, autores, título, revista, base de datos, cuartil, objetivos, problema de investigación, metodología, resultados, discusiones y recomendaciones. Este enfoque riguroso permitió mantener un registro organizado y facilitar la síntesis y análisis de la información. La extracción de datos se realizó siguiendo un enfoque estandarizado, garantizando coherencia y fiabilidad. Este proceso contribuyó a la calidad y robustez de la revisión sistemática, proporcionando una base sólida para interpretar y concluir los hallazgos (APA, 2020).

Para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios seleccionados, se emplearon criterios predefinidos que incluyeron la claridad de los objetivos, la metodología, la gestión de sesgos, la coherencia entre objetivos y resultados, y la validez y fiabilidad de los datos. También se evaluó la transparencia en los hallazgos, garantizando un marco sólido para asegurar la calidad y validez de los resultados de la revisión sistemática (APA, 2020). El proceso para determinar la elegibilidad de los estudios en cada síntesis se basó en la tabulación de sus características, como año de publicación, autores, enfoque metodológico, resultados y conclusiones. Se utilizaron las JBI Critical Appraisal Tools del Joanna Briggs

Institute para evaluar la validez, confiabilidad y relevancia de los hallazgos, tomando las limitaciones por heterogeneidad de los estudios y contextos.

### 3. RESULTADOS

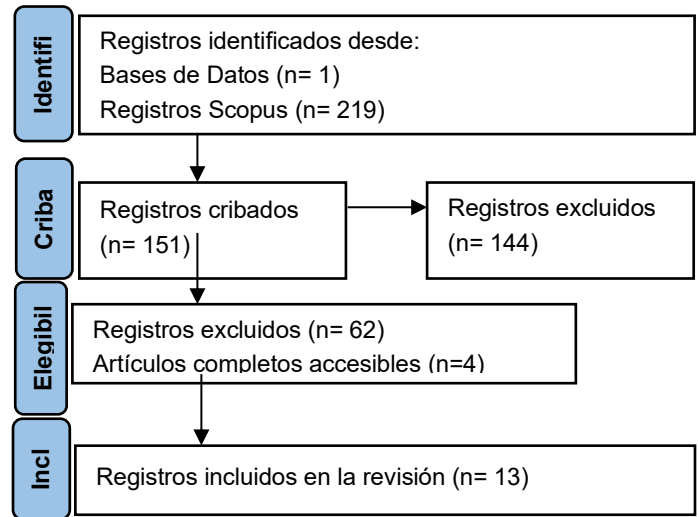
#### 3.1 Selección de estudios

De los 219 estudios identificados en Scopus, se seleccionaron 13 relevantes según los criterios de exclusión determinados para la investigación, excluyendo 206 por antigüedad o conveniencia. Este proceso se detallada en la figura 1 y la tabla 3 garantizando la rigurosidad y validez de los estudios seleccionados.

#### 3.2 Resultados de los Estudios Individuales - Objetivos

Zhao et al., 2022: Este estudio delinea de manera exhaustiva los vínculos de la capacidad de carga entre diferentes subsistemas de los Recursos - Medio Ambiente - Economía Social (RES), y diagnosticar los obstáculos que afectan al desarrollo urbano sostenible [15].

Xu et al., 2020: El propósito de esta investigación es monitorear los efectos de las asociaciones público-privadas en la práctica [22].



Rakpanitmanee & Pathranarakul, 2023: Esta investigación explora la falta de atención en los usuarios finales o grupos impactados por estas infraestructuras públicas [16].

Los resultados reflejan la diversidad del tema desde la evaluación del desarrollo urbano sostenible hasta el impacto de

Tabla 2. Estrategias de búsqueda en las bases de Scopus y WoS

Estrategias	Términos de Búsqueda	Scopus
1	("integrated approach") AND ("infrastructure planning" OR "design approach")	151
2	("sustainable development") AND ("public infrastructure" OR "private infrastructure")	47
3	("global analysis") AND ("sustainable infrastructure" OR "efficiency improvement")	0
4	("integrated planning") AND ("sustainability assessment" OR "design integration")	1
5	("public-private partnerships") AND ("sustainable infrastructure" OR "design optimization")	13
6	("multi-stakeholder collaboration") AND ("infrastructure development" OR "design innovation")	1
7	("urban infrastructure") AND ("sustainability strategies" OR "planning integration")	0
8	("environmental impact assessment") AND ("infrastructure projects" OR "design optimization")	6
9	("climate change resilience") AND ("infrastructure design" OR "planning strategies")	0
10	((("integrated approach") AND ("infrastructure planning" OR "design approach")) AND ((("sustainable development") AND ("public infrastructure" OR "private infrastructure"))) AND ((("global analysis") AND ("sustainable infrastructure" OR "efficiency improvement"))))	0
Total		219

Figura 1. Diagrama prisma. Elaborado a partir de la metodología prisma en base a la revisión y selección de las referencias bibliográficas.

las asociaciones público-privadas en la eficiencia.

#### 3.3 Resultados de los Estudios Individuales – Problemas de Investigación

**Tabla 3.** Características de los estudios. Se elaboro a partir de la selección de las referencias bibliográficas seleccionadas para la investigación.

Código	Año	Autor	Título	Revista de Publicación	Quartil
A1	2022	Yanqi Zhao, Rongkun Dai, Ying Yang, Fan Li, Yue Zhang, Xinyi Wang	Integrated evaluation of resource and environmental carrying capacity during the transformation of resource-exhausted cities based on Euclidean distance and a Gray-TOPSIS model: A case study of Jiaozuo City, China	Ecological Indicators	Q1
A2	2020	Xu H.; Wei X.; Wang B.; Cheng Y.; Wang Y.	Do Public-Private Partnerships Improve the Operational Efficiency of Infrastructure in Mainland China?	Advances in Civil Engineering	Q3
A3	2023	Rakpanitmanee S.; Pathranarakul P.	The critical success factors of public-private-people partnerships (pppps) for efficient and sustainable infrastructure development in thailand	ASEAN Engineering Journal	Q4
A4	2019	Zhang B.; Zhang L.; Wu J.; Wang S.	Factors affecting local governments' public-private partnership adoption in urban China	Sustainability (Switzerland)	Q2
A5	2024	Herbst R.S.; Blanke C.D.; Sigal E.V.	Novel Approach to Accelerate Lung Cancer Research: Lung-MAP and the Potential of Public-Private Partnerships	Clinical Cancer Research	Q1
A6	2022	González-Ruiz J.D.; Botero-Botero S.; Peña A.	Analysis of the Capital Structure in Sustainable Infrastructure Systems: A Methodological Approach	Sustainability (Switzerland)	Q2
A7	2023	Akomea-Frimpong I.; Jin X.; Osei-Kyei R.; Kukah A.S.	Public-private partnerships for sustainable infrastructure development in Ghana: a systematic review and recommendations	Smart and Sustainable Built Environment	Q1
A8	2019	Gonzalez-Ruiz J.D.; Arboleda A.; Botero S.; Rojo J.	Investment valuation model for sustainable infrastructure systems: Mezzanine debt for water projects	Engineering, Construction and Architectural Management	Q1
A9	2022	Mazher K.M.; Chan A.P.C.; Choudhry R.M.; Zahoor H.; Edwards D.J.; Ghaithan A.M.; Mohammed A.; Aziz M.	Identifying Measures of Effective Risk Management for Public-Private Partnership Infrastructure Projects in Developing Countries	Sustainability (Switzerland)	Q2
A10	2021	Hoefl M.; Pieper M.; Eriksson K.; Bargstädt H.-J.	Toward life cycle sustainability in infrastructure: The role of automation and robotics in ppp projects	Sustainability (Switzerland)	Q2
A11	2024	Chen, H., Li, J., Wang, Y., Ni, Z., Xia, B.	Evaluating Trade-Offs in Ecosystem Services for Blue-Green-Grey Infrastructure Planning	Sustainability (Switzerland)	Q2
A12	2022	Węgrzyn J.; Wojewnik-filipkowska A.	Stakeholder Analysis and Their Attitude towards PPP Success	Sustainability (Switzerland)	Q2
A13	2019	Egan M.; Agyemang G.	Progress towards sustainable urban water management in Ghana	Sustainability Accounting, Management and Policy Journal	Q1

Zhao et al., 2022: El desarrollo de las ciudades basadas en recursos presenta características de etapas evidentes, y su capacidad de carga de recursos y medioambiental es un índice dinámico importante para medir el desarrollo sostenible y una herramienta poderosa para la toma de decisiones gubernamentales, especialmente para las ciudades agotadas de recursos [15].

Xu et al., 2020: Las asociaciones público-privadas (APP) se utilizan ampliamente para lograr la provisión de infraestructuras sostenibles [22].

Rakpanitmanee & Pathranarakul, 2023: La asociación público-privada (APP) es un acuerdo comúnmente utilizado para desarrollar infraestructuras públicas [16].

La variabilidad en los resultados refleja la diversidad de enfoques y contextos en el estudio de las APP y la sostenibilidad de la infraestructura. Algunos trabajos analizan

la capacidad de carga ambiental, mientras que otros exploran factores que afectan su adopción en áreas urbanas, destacando la importancia de los contextos locales y objetivos específicos. Esto subraya la necesidad de más investigación sobre su contribución al desarrollo sostenible en distintas regiones.

### 3.4 Metodologías Utilizadas en los Estudios Seleccionados

Los estudios seleccionados emplearon diversos enfoques cuantitativos, cualitativos y mixtos; destacando metodologías en modelos de análisis relacional (TOPSIS) en China[15], estudios de eficiencia operativa en carreteras [22] y evaluaciones de factores críticos en asociaciones público-privadas[16].

### 3.5 Variabilidad en los Resultados Clave y Enfoques Metodológicos

Se observa una variabilidad significativa en los resultados clave entre los estudios, lo que resalta la complejidad y diversidad de los enfoques para abordar la sostenibilidad en la infraestructura. Mientras que algunos estudios, como el de [23], identifican la presión financiera como el principal factor influyente en la adopción de asociaciones público-privadas en China urbana, otros se centran en el diseño de protocolos clínicos innovadores para mejorar la investigación del cáncer de pulmón. Esta variabilidad refleja la necesidad de considerar contextos específicos y enfoques multidisciplinarios al abordar la sostenibilidad en la infraestructura [24].

### 3.6 Dominio de las Metodologías Cuantitativas y Mixtas

Se observa un dominio de metodologías cuantitativas y mixtas en los estudios seleccionados, lo que permite evaluar de manera rigurosa los factores clave de la sostenibilidad de la infraestructura e integrar perspectivas cualitativas para comprender las complejidades contextuales. Por ejemplo, [25] usaron análisis de factores y pruebas de confiabilidad para gestionar riesgos en asociaciones público-privadas en países en desarrollo, mientras que se subdividieron la sostenibilidad en dimensiones como ingeniería, gestión de proyectos, medio ambiente, social y económica, basándose en una revisión exhaustiva de literatura. [19]. Este enfoque multidimensional y riguroso destaca la necesidad de una perspectiva holística en la sostenibilidad de la infraestructura pública y privada, como

**Tabla 4.** Enfoques metodológicos. Elaborado a partir del análisis de la metodología utilizada por las referencias bibliográficas seleccionadas.

Enfoque	Enfoque Cuantitativo	Enfoque Cualitativo	Otros Enfoques
		Rakpanitmanee & Pathranarakul (2023)	
	Xu et al. (2020)		Yanqi Zhao et al. (2022)
	Zhang et al. (2019)		González-Ruiz et al. (2022)
	Herbst et al. (2024)		Akomea-Frimpong et al. (2023)
	Mazher et al. (2022)		Gonzalez-Ruiz et al. (2019)
	Hoefl et al. (2021)		Węgrzyn & Wojewnik-filipkowska (2022)
	Chen et al. (2024)		Egan & Agyemang (2019)

se detalla en la tabla 4.

Resultados de la Síntesis:

1. Evolución de la capacidad de Jiaozuo para el desarrollo sostenible.
2. Ineficiencias en la operación de carreteras concesionadas.
3. Marco estratégico para mejorar la práctica de PPP.
4. Influencia de la presión financiera en la iniciación de proyectos de PPP.

### 3.7 Evolución de la capacidad de Jiaozuo para el desarrollo sostenible

La síntesis de la literatura revela ideas significativas sobre la evolución de la capacidad de desarrollo sostenible de la ciudad de Jiaozuo [15]. Destacando una trayectoria marcada por una dependencia inicial de los recursos, seguida por un notable cambio hacia la innovación científica, la protección ecológica y la inversión en infraestructura pública. Simultáneamente, se enfatiza el rol del compromiso de partes interesadas y marcos institucionales en mejorar las APP para infraestructuras sostenibles, resaltando la interacción entre recursos, tecnología y colaboración [16]. La síntesis resalta las implicaciones de integrar planificación y diseño para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de la infraestructura global [22] y [23] señalan ineficiencias operativas y financieras en proyectos, subrayando la importancia de la planificación estratégica y gestión de riesgos. Además, se recalca la necesidad de alinear las APP con los objetivos de desarrollo sostenible mediante enfoques integrados y holísticos [26].

### 3.8 Ineficiencias en la operación de carreteras concesionadas

La síntesis de la literatura reciente aclara varias ineficiencias inherentes en la operación de carreteras de peaje basadas en concesiones. [22] Resaltan las complejidades en la mejorara de la eficiencia operativa en el contexto de APP. [18] Se vinculan las restricciones financieras locales con estas ineficiencias. Además, se destaca que el compromiso de partes interesadas y enfoques colaborativos para mitigar desafíos. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de integrar planificación y diseño para abordar problemas sistémicos y optimizar proyectos de infraestructura sostenible a escala global [27].

### 3.9 Marco estratégico para mejorar la práctica de PPP

La síntesis de la literatura destaca los factores críticos de éxito (FCE) en la práctica de las APP para infraestructura sostenible, proponiendo un marco institucional estratégico para partes interesadas, con regulaciones integrales que optimicen las APP [16]. Además, se resalta la importancia de la sostenibilidad fiscal en estos proyectos [28]. Por su parte, se enfatiza en integrar la sostenibilidad ambiental, social y económica en la gestión. Estos hallazgos señalan la necesidad de un enfoque holístico que equilibre los diversos intereses, garantizando resiliencia y sostenibilidad a largo plazo, abordando brechas como acción climática y financiación sostenible [14].

### 3.10 Influencia de la presión financiera en la iniciación de proyectos de PPP

Las restricciones fiscales son clave en la decisión de iniciar proyectos de APP, con ciudades deficitarias más inclinadas a

adoptarlos, aunque estos enfrentan mayores riesgos y desafíos si tienen altas cargas financieras [28]. Asimismo, la síntesis subraya las implicaciones de las presiones financieras en el desarrollo de infraestructura sostenible. [16] proponen un enfoque holístico en la gobernanza de las APP, abogando por marcos de políticas que equilibren las restricciones financieras y promuevan un desarrollo eficiente y sostenible. Además, se considera que ignorar la sostenibilidad financiera puede frenar el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. Estos hallazgos destacan la necesidad de incluir estrategias de gestión de riesgos y viabilidad financiera en la planificación de APP [27].

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1 Interpretación de los Resultados: Evolución de la Capacidad de Jiaozuo para el Desarrollo Sostenible

La síntesis de la literatura reciente revela ideas significativas sobre la evolución de la capacidad de desarrollo sostenible de la ciudad de Jiaozuo [15], [25]. Estos hallazgos subrayan una evolución matizada caracterizada por la interacción de la utilización de recursos, la innovación tecnológica y la colaboración de las partes interesadas, destacando una trayectoria marcada por una dependencia inicial de los recursos, seguida por un notable cambio hacia la innovación científica, la protección ecológica y la inversión en infraestructura pública. Además, la investigación resalta la importancia del compromiso de las partes interesadas y los marcos institucionales en la mejora de las asociaciones público-privadas (APP) para el desarrollo de infraestructuras sostenibles, lo cual sugiere una necesidad de enfoques integrados que no sólo aborden las necesidades inmediatas de infraestructura, sino que también fomenten la resiliencia y sostenibilidad a largo plazo [22], [18].

### 4.2 Interpretación de los Resultados: Ineficiencias en la Operación de Carreteras Concesionadas

El estudio revela ineficiencias en la operación de carreteras de peaje basadas en concesiones, destacando disparidades regionales y significativas ineficiencias en ahorro de costos [23]. El examen de la transición de modelos gubernamentales a concesiones muestra desafíos en mejorar la eficiencia operativa en el marco de las APP. Estos hallazgos subrayan la necesidad de un enfoque integral para abordar las ineficiencias operativas y optimizar el rendimiento de la infraestructura. Además, se identifican las presiones financieras sobre los gobiernos locales como un factor clave en el inicio de proyectos de APP, sugiriendo una relación entre restricciones financieras e ineficiencias operativas [29]. Se destaca también la importancia del compromiso de las partes interesadas para mejorar las APP, señalando que enfoques colaborativos son cruciales para mitigar desafíos operativos [30]. Estos hallazgos

subrayan la necesidad de adoptar enfoques integrados de planificación y diseño para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos de infraestructura globalmente.

### 4.3 Interpretación de los Resultados: Marco Estratégico para Mejorar la Práctica de PPP

La síntesis de la literatura resalta la naturaleza multifacética de los factores críticos de éxito (FCE) en el fortalecimiento de las Asociaciones Público-Privadas (APP) para el desarrollo sostenible de infraestructura [16]. Se propone un nuevo marco institucional estratégico de partes interesadas, destacando la necesidad de marcos regulatorios integrales de políticas y operativas para optimizar la práctica de las APP. Estos hallazgos subrayan la importancia de un enfoque holístico que considere los intereses diversos de las partes interesadas, mientras se asegura la viabilidad financiera y la sostenibilidad a largo plazo de las iniciativas de APP.

Además, se identifican brechas y oportunidades para avanzar en el desarrollo de infraestructura sostenible a través de las APP a nivel global [26]. Se destacan áreas clave como la acción climática y la financiación sostenible, donde la literatura sobre APP y objetivos de desarrollo sostenible sigue siendo limitada. Estos conocimientos enfatizan la necesidad de integrar diversas perspectivas de las partes interesadas y priorizar objetivos de sostenibilidad para fomentar el éxito y la resiliencia a largo plazo en el desarrollo de infraestructura a escala global.

### 4.4 Interpretación de los Resultados: Influencia de la Presión Financiera en la Iniciación de Proyectos de PPP

La síntesis de la literatura destaca el papel crucial de las presiones financieras en el inicio de proyectos de APP, especialmente en el desarrollo urbano, donde las restricciones fiscales influyen significativamente en las decisiones de los gobiernos locales para participar en estos proyectos [18]. Se observa que las ciudades con mayor deuda o déficits presupuestarios tienden a iniciar más proyectos de APP, lo que resalta la importancia de considerar la sostenibilidad fiscal en la planificación e implementación de estos proyectos. Además, se enfatiza la necesidad de marcos de políticas integrales que aborden las restricciones financieras y promuevan un desarrollo de infraestructura eficiente y sostenible [16]. Estos hallazgos subrayan la necesidad de integrar consideraciones financieras en la planificación de APP para garantizar la sostenibilidad y resiliencia a largo plazo en el desarrollo de infraestructura global.

### 4.5 Significado de los Hallazgos: Evolución de la capacidad de Jiaozuo para el desarrollo sostenible

La síntesis de la literatura reciente sobre la evolución de la capacidad de desarrollo sostenible de la ciudad de Jiaozuo

revela una trayectoria marcada por una serie de transformaciones significativas [15]. Desde una dependencia inicial de los recursos hasta un enfoque más orientado a la innovación científica y la protección ambiental, la ciudad ha experimentado un cambio notable en su enfoque hacia el desarrollo sostenible. Los hallazgos de [15] y [25] sugieren que esta evolución ha sido impulsada por una combinación de factores, incluyendo la participación activa de las partes interesadas y marcos institucionales sólidos para promover asociaciones público-privadas (APP) eficientes. Esta comprensión de la evolución de Jiaozuo ofrece ideas valiosas sobre cómo las ciudades pueden adaptarse y transformarse para abordar los desafíos contemporáneos de la sostenibilidad urbana, proporcionando un marco útil para futuras iniciativas de desarrollo sostenible a nivel mundial.

#### **4.6 Significado de los Hallazgos: Ineficiencias en la operación de carreteras concesionadas**

Las ineficientes conexiones viales entre diferentes regiones muestran la falta de un enfoque integral que optimice la gestión y planificación de infraestructuras viales a nivel global, enfatizando la necesidad de adoptar estrategias más holísticas y orientadas al resultado [28].

#### **4.7 Significado de los Hallazgos: Marco estratégico para mejorar la práctica de PPP**

Para el éxito a largo plazo de las iniciativas de APP es clave tener un marco estratégico integral que combine regulaciones sólidas, compromiso de partes interesadas y sostenibilidad financiera. Además, la identificación de áreas temáticas críticas, como la acción climática y la financiación sostenible, resalta la necesidad de abordar desafíos emergentes y promover la alineación con los objetivos de desarrollo sostenible a nivel mundial. Estos resultados tienen implicaciones significativas para los responsables de políticas y los profesionales del desarrollo de infraestructuras, proporcionando una guía valiosa para mejorar la práctica de las APP y promover el desarrollo sostenible a escala global.

#### **4.8 Limitaciones del Estudio**

La revisión sistemática de literatura realizada en este estudio se basó en una selección específica de artículos científicos en inglés de las bases de Scopus, lo que podría introducir un sesgo de idioma y una limitación en la representatividad de la literatura revisada [28]; [16]. Además, la restricción de incluir solo artículos de acceso abierto puede haber excluido investigaciones relevantes que podrían estar detrás de paywalls, lo que limita la accesibilidad y exhaustividad de la revisión [28], [29]. Estas limitaciones podrían afectar la interpretación y generalización de los resultados al limitar la diversidad de perspectivas y hallazgos disponibles en la literatura relevante [27]. Asimismo, la

exclusión de artículos no escritos en inglés podría haber dejado fuera importantes contribuciones de investigaciones realizadas en otros idiomas, lo que podría haber enriquecido aún más el análisis y las conclusiones [24]. Por lo tanto, es importante reconocer que la revisión sistemática podría no haber capturado la totalidad del espectro de investigaciones relevantes sobre el tema, lo que podría influir en la robustez y validez de las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

## **5. RECOMENDACIONES**

La revisión sistemática de literatura realizada en este estudio destaca la necesidad de abordar las limitaciones identificadas para futuras investigaciones en el campo. Se sugiere que investigaciones futuras amplíen el alcance de la revisión incluyendo una gama más diversa de fuentes, como revistas en otros idiomas y artículos detrás de paywalls, para garantizar una representación más completa de la literatura disponible [29], [30]. Además, sería beneficioso para futuros estudios considerar la inclusión de métodos complementarios, como revisiones de literatura grises y entrevistas con expertos en el campo, para obtener una perspectiva más holística y enriquecida sobre el tema [26], [25]. Estas recomendaciones buscan mejorar la calidad y relevancia de las investigaciones futuras en el área de integración de enfoques de planificación y diseño para el desarrollo sostenible de infraestructura pública y privada a nivel global.

### **5.1 Recomendaciones para futuras investigaciones**

Se sugiere que investigaciones futuras amplíen el alcance de la revisión incluyendo una gama más diversa de fuentes, como revistas en otros idiomas y artículos detrás de paywalls, para garantizar una representación más completa de la literatura disponible [29], [30]. Además, sería beneficioso para futuros estudios considerar la inclusión de métodos complementarios, como revisiones de literatura grises y entrevistas con expertos en el campo, para obtener una perspectiva más holística y enriquecida sobre el tema. Estas recomendaciones buscan mejorar la calidad y relevancia de las investigaciones futuras en el área de integración de enfoques de planificación y diseño para el desarrollo sostenible de infraestructura pública y privada a nivel global.

### **5.2 Posibles direcciones para futuras investigaciones**

Dadas las limitaciones identificadas en esta revisión sistemática, se recomienda que las investigaciones futuras exploren en mayor profundidad el papel de las políticas gubernamentales y la gobernanza en la implementación de asociaciones público-privadas (APP) para el desarrollo de infraestructuras sostenibles. Además, sería valioso investigar cómo las tendencias tecnológicas emergentes, como la

inteligencia artificial y la automatización, pueden integrarse de manera efectiva en los enfoques de planificación y diseño para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos de infraestructura. Estas posibles direcciones ofrecen oportunidades para avanzar en el conocimiento y la práctica en el campo, abordando las limitaciones identificadas y promoviendo soluciones innovadoras para los desafíos actuales y futuros en el desarrollo de infraestructuras a nivel mundial.

## 6. CONCLUSIONES

La revisión destaca como Jiaozuo ha evolucionado de la dependencia de recursos hacia la innovación y colaboración, tomando en cuenta la integración de dimensiones ambientales, sociales y económicas en la planificación de infraestructura [15], [16].

El análisis también destaca la necesidad de adoptar enfoques integrados en la práctica de las Asociaciones Público-Privadas (APP) para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos de infraestructura. [22] y [18] Identifican ineficiencias operativas y financieras en proyectos de infraestructura, señalando la importancia de una planificación estratégica y una gestión de riesgos efectiva. Estos hallazgos resaltan la necesidad de abordar desafíos sistémicos y promover la resiliencia a largo plazo a través de la integración de enfoques holísticos en la planificación y diseño de [22], [18].

Además, la revisión de la literatura destaca la importancia de desarrollar marcos estratégicos que abordan los diversos intereses de las partes interesadas y garanticen la viabilidad financiera y la sostenibilidad a largo plazo en las iniciativas de APP. [16] y [18] Subrayan la necesidad de políticas integrales y una gobernanza efectiva para optimizar la práctica de las APP. Estos hallazgos enfatizan la necesidad de enfoques colaborativos y la consideración de objetivos de sostenibilidad para promover el éxito y la resiliencia en los proyectos de infraestructura a nivel mundial [16], [18].

## 7. FINANCIAMIENTO

La investigación es autofinanciada.

## 8. CONFLICTO DE INTERÉSES

La autora no tiene conflictos de interés que declarar.

## REFERENCIAS

- [1] M. Kuchler, A. Craig-Thompson, E. Alofe, and A. Tryggvason, "SubCity: Planning for a sustainable subsurface in Stockholm," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 144, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.tust.2023.105545.

- [2] T. He et al., "Quantifying the impact of urban trees on land surface temperature in global cities," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 210, pp. 69–79, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.isprs.2024.03.007.
- [3] Y. K. Qiao, F. Le Peng, Y. H. Dong, and C. F. Lu, "Planning an adaptive reuse development of underutilized urban underground infrastructures: A case study of Qingdao, China," *Underground Space (China)*, vol. 14, pp. 18–33, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.undsp.2023.05.005.
- [4] Y. Zhong and Y. Li, "Statistical Evaluation of Sustainable Urban Planning: Integrating Renewable Energy Sources, Energy-Efficient Buildings, and Climate Resilience Measures," *Sustain Cities Soc*, vol. 101, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.scs.2023.105160.
- [5] J. Min and Z. Liu, "Science, technology and innovation driving urban land use and urban planning development: policy and practice," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.2478/amns-2024-0703.
- [6] W. Li, Z. Cai, and L. Jin, "Urban green land use efficiency of resource-based cities in China: Multidimensional measurements, spatial-temporal changes, and driving factors," *Sustain Cities Soc*, vol. 104, May 2024, doi: 10.1016/j.scs.2024.105299.
- [7] A. Leng, K. Wang, J. Bai, N. Gu, and R. Feng, "Analyzing sustainable development in Chinese cities: A focus on land use efficiency in production-living-ecological aspects," *J Clean Prod*, vol. 448, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141461.
- [8] H. Yin, J. Yan, Y. Wu, S. Wu, X. He, and M. Zhang, "Assessing levels of urban public electric vehicle charging service in different-level cities: A case study of the 35 cities of the Chengdu–Chongqing Urban Agglomeration, China," *Sustain Cities Soc*, vol. 101, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.scs.2023.105115.
- [9] Y. Wang, Y. Feng, and L. Liu, "An improved case-based reasoning approach for sustainable rural development applied to strategic responses," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 133, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.engappai.2024.108316.
- [10] A. Maciejewska, J. Sobieraj, and Ł. Kuzak, "Analysis of greenery coverage of the area of the City of Warsaw on the quality of life of residents on the basis of spatial and statistical data," *Archives of Civil Engineering*, pp. 239–260, Mar. 2024, doi: 10.24425/ace.2024.148909.
- [11] W. Qiao and X. Huang, "Assessment the urbanization sustainability and its driving factors in Chinese urban agglomerations: An urban land expansion - Urban population dynamics perspective," *J Clean Prod*, vol. 449, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141562.
- [12] H. S. Choi, "Reinventing Sustainable Neighborhood Planning: A Case Study of Le

- Rheu, France,” *Buildings*, vol. 14, no. 2, Feb. 2024, doi: 10.3390/buildings14020536.
- [13] Y. Zhang, S. Chen, and M. A. Hoistad, “Sustainable development strategy for historic neighborhood shrinkage: taking Puhuiquan neighborhood in Yulin, China, as an example,” *Herit Sci*, vol. 12, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1186/s40494-024-01180-x.
- [14] A. Frimpong, R. O. Mensah, and M. A. Nkrumah, “Investigating the link between land service delivery and residential development in Ghana: a case study of Ampabame within Atwima Kwanwoma District in Kumasi,” *Cogent Arts Humanit*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1080/23311983.2024.2335762.
- [15] Y. Zhao, R. Dai, Y. Yang, F. Li, Y. Zhang, and X. Wang, “Integrated evaluation of resource and environmental carrying capacity during the transformation of resource-exhausted cities based on Euclidean distance and a Gray-TOPSIS model: A case study of Jiaozuo City, China,” *Ecol Indic*, vol. 142, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109282.
- [16] S. Rakpanitmanee and P. Pathranarakul, “THE CRITICAL SUCCESS FACTORS OF PUBLIC-PRIVATE-PEOPLE PARTNERSHIPS (PPPPS) FOR EFFICIENT AND SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN THAILAND,” *ASEAN Engineering Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 125–136, 2023, doi: 10.11113/aej.V13.18456.
- [17] P. Wang, H. Li, Z. Huang, and H. Yang, “The impact of teleconnections of built-up land on unbalanced regional development and spatial carbon balance,” *J Clean Prod*, vol. 448, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141587.
- [18] B. Zhang, L. Zhang, J. Wu, and S. Wang, “Factors affecting local governments’ public-private partnership adoption in urban China,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 23, Dec. 2019, doi: 10.3390/su11236831.
- [19] M. Hoeft, M. Pieper, K. Eriksson, and H. J. Bargstädt, “Toward life cycle sustainability in infrastructure: The role of automation and robotics in ppp projects,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 7, Apr. 2021, doi: 10.3390/su13073779.
- [20] W. He et al., “Promoting green-building development in sustainable development strategy: A multi-player quantum game approach,” *Expert Syst Appl*, vol. 240, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122218.
- [21] L. Zhang, Y. Sun, C. Li, and B. Li, “Promoting Sustainable Development in Urban–Rural Areas: A New Approach for Evaluating the Policies of Characteristic Towns in China,” *Buildings*, vol. 14, no. 4, Apr. 2024, doi: 10.3390/buildings14041085.
- [22] H. Xu, X. Wei, B. Wang, Y. Cheng, and Y. Wang, “Do Public-Private Partnerships Improve the Operational Efficiency of Infrastructure in Mainland China?,” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8885308.
- [23] J. D. Gonzalez-Ruiz, A. Arboleda, S. Botero, and J. Rojo, “Investment valuation model for sustainable infrastructure systems: Mezzanine debt for water projects,” *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 26, no. 5, pp. 850–884, May 2019, doi: 10.1108/ECAM-03-2018-0095.
- [24] R. S. Herbst, C. D. Blanke, and E. V. Sigal, “Novel Approach to Accelerate Lung Cancer Research: Lung-MAP and the Potential of Public-Private Partnerships,” *Clinical Cancer Research*, vol. 30, no. 1, pp. 29–32, Jan. 2024, doi: 10.1158/1078-0432.CCR-23-2690.
- [25] K. M. Mazher et al., “Identifying Measures of Effective Risk Management for Public–Private Partnership Infrastructure Projects in Developing Countries,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 21, Oct. 2022, doi: 10.3390/su142114149.
- [26] M. Egan and G. Agyemang, “Progress towards sustainable urban water management in Ghana,” *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 235–259, Jun. 2019, doi: 10.1108/SAMPJ-09-2018-0232.
- [27] I. Akomea-Frimpong, X. Jin, R. Osei-Kyei, and A. S. Kukah, “Public–private partnerships for sustainable infrastructure development in Ghana: a systematic review and recommendations,” *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 12, no. 2, pp. 237–257, Feb. 2023, doi: 10.1108/SASBE-07-2021-0111.
- [28] J. D. González-Ruiz, S. Botero-Botero, and A. Peña, “Analysis of the Capital Structure in Sustainable Infrastructure Systems: A Methodological Approach,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/su141912662.
- [29] H. Chen, J. Li, Y. Wang, Z. Ni, and B. Xia, “Evaluating Trade-Offs in Ecosystem Services for Blue–Green–Grey Infrastructure Planning,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16010203.
- [30] J. Węgrzyn and A. Wojewnik-filipkowska, “Stakeholder Analysis and Their Attitude towards PPP Success,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.3390/su14031570.

## Evaluación numérica del desempeño de una edificación con estrategias bioclimáticas en ciudad de Panamá

Numerical evaluation of the performance of a building with bioclimatic strategies in Panama city

*Angienely Humphries<sup>1</sup>, Dafni Mora<sup>2</sup>, Miguel Chen Austin<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Mecánica, Panamá

<sup>2</sup> Sistema Nacional de Investigación (SNI), Clayton Ciudad de Panamá, Panamá

<sup>3</sup> [miguel.chen@utp.ac.pa](mailto:miguel.chen@utp.ac.pa)

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0299-8519>, <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7320-5061>, <sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5766-6020>

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 15 de enero de 2025.

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6853>



**RESUMEN:** Las edificaciones sostenibles tienen como objetivo minimizar el impacto ambiental al utilizar eficientemente los recursos, la energía y los materiales, al mismo tiempo que fomentan el bienestar de sus habitantes. Siendo así que el presente caso de estudio corresponde a una instalación bioclimática diseñada para las comunidades vulnerables en Panamá, orientada al sur. En este estudio, usando el software Designbuilder, se realizaron análisis de rendimiento térmico, considerando principalmente el uso de ventilación natural a través de los indicadores PCVN y HSVN; análisis de rendimiento energético, en el que se evaluó el uso del aire acondicionado como complemento de la ventilación natural para las horas de inconfort; evaluación del potencial de generación de energía renovable, en el que se analizó el uso de un sistema fotovoltaico a través de dimensionamiento estático y dinámico; y la evaluación de la huella de carbono en la edificación. Como resultado se obtuvo que el PCVN fue solo del 20%, afectado por la alta humedad, mientras que el HSVN alcanzó el 70%. Además, se analizó el uso de aire acondicionado como apoyo a la ventilación natural y la implementación de un sistema fotovoltaico que cubre gran parte de la demanda energética del edificio. Los resultados indican que este enfoque no solo mejora el confort interior, sino que también reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, promoviendo un diseño sostenible para sectores vulnerables.

**PALABRAS CLAVES:** Confort, eficiencia, estrategias bioclimáticas, HSVN, PCVN, rendimiento energético, rendimiento térmico, sistema fotovoltaico, ventilación pasiva.

**ABSTRACT:** Sustainable buildings aim to minimize environmental impact by efficiently using resources, energy, and materials, while promoting the well-being of their inhabitants. This case study focuses on a bioclimatic building designed for vulnerable communities in Panama, oriented to the south. In this study, using the Designbuilder software, thermal performance analyses were conducted, mainly considering the use of natural ventilation through the PCVN and HSVN indicators; energy performance analysis, evaluating the use of air conditioning as a complement to natural ventilation during uncomfortable hours; evaluation of renewable energy generation potential, analyzing the use of a photovoltaic system through static and dynamic sizing; and the carbon footprint assessment of the building. The results showed that the PCVN was only 20%, affected by high humidity, while the HSVN reached 70%. Additionally, air conditioning use was analyzed as support for natural ventilation, and the implementation of a photovoltaic system that covers a large part of the building's energy demand. The results indicate that this approach not only improves interior comfort but also reduces CO<sub>2</sub> emissions, promoting sustainable design for vulnerable sectors.

**KEYWORDS:** Comfort, efficiency, bioclimatic strategies, HSVN, PCVN, energy performance, thermal performance, photovoltaic system, passive ventilation.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda constante del cambio, el ser humano ha logrado grandes avances en todas las aristas que componen la estructura de una sociedad. Sin embargo, en el afán de progresar, se han dejado rezagados diversos grupos por nivel socioeconómico, género, condición étnico-racial, edad y territorio, además de otras condiciones, como la situación de discapacidad o el estatus migratorio. También con el desarrollo de la población y como consecuencia de la desigualdad existente, el medio ambiente se ha visto afectado, ya que la tasa de contaminación, en todas sus formas, ha ido en aumento en los últimos años.

Es por ello que la Organización de las Naciones Unidas adoptó los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como medio para “poner fin a la pobreza y proteger el planeta”, a fin de garantizar para 2030 un futuro próspero para la humanidad [1]. De los 17 objetivos existentes, el presente estudio se relaciona con uno de ellos “ciudades y comunidades sostenibles” mediante la valoración de una edificación sostenible.

Los autores en [2] señalan que el ambiente térmico de una edificación tiene incidencia sobre la salud, el bienestar y la productividad de los ocupantes; por lo tanto, es un factor importante para considerar en la construcción o adaptación de recintos en general. Es por ello por lo que se realizan las evaluaciones termoenergéticas para identificar las oportunidades de ahorro energético a través de la envolvente, ya sea en la selección de materiales, orientación de la edificación y otros factores previos a la construcción o elementos reemplazables que permitan mejorar las condiciones de un recinto existente. Es decir, aplicando medidas pasivas y activas de ahorro energético según los resultados de las evaluaciones a realizar.

### 1.1. Estado del arte

Para mejorar el desempeño térmico-energético de una edificación se aplican diversas estrategias bioclimáticas, como los modelos Bruce Novell ampliado (BNA), que se focaliza en las necesidades de protección solar; la clasificación de arquitectura bioclimática, que sirve de soporte al modelo Givoni-Watson-Szockolay; las estrategias Bioclimáticas Horarias (GWS-EBH), en el cual se juntan las estrategias bioclimáticas de las cartas psicrométricas de los tres autores involucrados; el método Mahony-Evans (MET-ME), que considera la inercia térmica, las edificaciones cerradas, las

pequeñas ventanas y la protección solar sin aportar valores cuantitativos [3].

Con base en lo anterior, los autores en [4][5] determinaron las condiciones óptimas para propiciar la ventilación cruzada. De igual manera se realizaron las evaluaciones energéticas y de los materiales que componen la edificación para obtener el estado base, cargas térmicas y de refrigeración de esta. Las opciones de mejoras propuestas alcanzaron ahorros en el consumo por climatización en el rango de 33% a 56%, logrando el confort térmico en una región de clima semiárido en San Juan, Argentina. En este país también se han realizado diversos estudios en el ámbito termoenergético a través de entidades no gubernamentales. Sin embargo, hay que destacar que el gobierno argentino, específicamente, desarrolló el programa “Etiquetado de Viviendas”, que tiene como objetivo “instituir la Etiqueta de Eficiencia Energética como instrumento que brinde información al ciudadano acerca de las prestaciones energéticas de una vivienda y constituya una herramienta de decisión adicional en operaciones inmobiliarias, evaluación de proyectos o realizar intervenciones en viviendas existentes”. Este programa cuenta con un software para la simulación de edificaciones, a fin de verificar el cumplimiento de las normas propuestas [6]. Teniendo esto en cuenta, los autores en [7] desarrollaron un estudio en una zona residencial en Argentina con clima templado cálido húmedo, aplicando el Etiquetado de Viviendas. Para ello, se recolectaron datos de campo respecto al clima, geografía y características tecno-constructivas y se realizó una evaluación energética para obtener el caso de referencia. De lo resultante, se practican mejoras a los componentes constructivos de la envolvente previo al levantamiento del recinto. Como resultado, se obtuvo que la unidad vecinal del Papa Francisco, que fue el caso de estudio, cumple con los mejores criterios de sostenibilidad en comparación con las unidades vecinales tradicionales. Pero si la evaluación de beneficio se hubiera iniciado en sus primeras etapas, se tendría una solución constructiva 63% más eficiente.

En lo que a análisis termoenergético respecta, en Ciudad de Veracruz, México, se realizó una simulación termoenergética de tres recintos con cargas de calor generadas por equipos eléctricos [8]. Al igual que en estudios anteriores, el análisis se realizó utilizando simulaciones en el software EnergyPlus. Se realizó, en primera instancia, un monitoreo energético en las edificaciones y se comprobó que el entorno tiene un efecto proporcional en el uso de la climatización activa. También, se desarrollaron simulaciones energéticas, agregando tres

tecnologías de climatización pasiva (impermeabilización de techos, sombreado y techo verde), donde el mejor resultado se obtuvo del techo verde con un 10% de ahorro de energía.

El uso de aislantes térmicos en las edificaciones en general reduce de manera significativa la carga térmica mejorando así el confort en el recinto. Si adicional a esto se toma en consideración la orientación y el tamaño de las ventanas, el confort puede ser mucho mayor.

Sobhy et al. [9], en su investigación, valida lo anterior expuesto en cuanto a aislante térmico se refiere, ya que se realizó una evaluación en una edificación en Marruecos en un clima cálido semiárido. Se concluyó que los aislantes térmicos son elementos primordiales en la reducción de las cargas de calefacción en el caso del invierno, pero se debe tener especial cuidado en su selección, pues lo que funciona para el invierno puede provocar sobrecalentamientos en verano. Para climas como los de Marruecos, se debe diseñar con base en la carga de refrigeración, ya que esta se encuentra presente durante más de seis meses en el año. Los resultados arrojaron que las cargas de calefacción y refrigeración se redujeron en un 10% y un 30%, respectivamente, al utilizar el poliestireno extruido como aislante térmico en la cubierta en comparación con el caso base que no posee aislamiento en la envolvente. Adicionalmente, se incorporó una cámara de aire de 5 cm en las paredes, lo cual permite que el ahorro total de energía en las cargas de calefacción y refrigeración sea de 13 y 5%, respectivamente en comparación con el caso base. Y, si se incorpora una barrera radiante en conjunto con la cámara de aire, los ahorros ascienden a 19% para calefacción y 31% para refrigeración.

Muchas otras estrategias son aplicadas para mejorar el confort y reducir el consumo energético en una edificación, como las presentadas en el estudio de Shandilya [10], en el cual se evaluaron diversas estrategias de renovación energética para las zonas climáticas de la India. Para las zonas con climas compuestos resultan más relevante que el foco sea la demanda de refrigeración por lo que, según los análisis realizados, las demandas de calefacción y refrigeración se redujeron en un 82% al aplicar aislantes térmicos en las paredes y el techo y ventanas de triple acristalamiento con sistema de control de sombra externo, solo activo durante el verano. Como consecuencia, el porcentaje de incomfort disminuye de un 40% a un 28%. Por otro lado, si se añade aislamiento al suelo, se puede disminuir aún más la demanda de calefacción, pero esto puede aumentar la demanda de refrigeración durante el verano. Para el clima caliente y seco, las construcciones deben realizarse totalmente herméticas y aisladas térmicamente, lo que resulta en una baja infiltración, techos aislados y control de sombras. Esto puede reducir la demanda energética en un 50% en estas zonas y si se incluye el aislamiento térmico de las paredes, el ahorro energético asciende a un 70%, por lo tanto, el incomfort se reduce de un 40% a menos del 25%. Según las simulaciones realizadas, en zonas de clima cálido y húmedo las

estrategias deben enfocarse en reducir la demanda de refrigeración, lo cual se puede obtener mediante el uso de aislantes térmicos en paredes y ventanas con control de sombra; alcanzando así un ahorro aproximado del 70% de la demanda energética total y reduciendo el incomfort de un 30 a 5%.

Resulta imprescindible considerar la orientación de la edificación, lo que también conlleva la evaluación del sombreado y flujo de la ventilación natural, según lo expusieron [11] quienes presentaron las mejores estrategias de ventilación natural y sombreado para mitigar los problemas de sobrecalentamiento en una torre residencial en Bilbao durante el clima cálido mediante simulaciones dinámicas. Se analizó el efecto directo de diversos factores sobre la temperatura interna, lo que demuestra que puede producirse un sobrecalentamiento en la temporada de calor, ya que al aislar las edificaciones térmicamente durante el invierno, en la época de verano se produce el sobrecalentamiento, por ende, la investigación concluye que los apartamentos con orientación en esquina y cruzada funcionan mejor que los de orientación simple para la ventilación natural, produciendo más renovaciones por hora. Sin embargo, se deben regular las diferentes estrategias de ventilación natural para evitar altas tasas de flujo de aire y combinar diferentes estrategias pasivas, como utilizar sistemas de sombreado en el exterior y que sean móviles, ya que de este tipo brindan mejores resultados en cuanto al confort térmico en las residencias .

Dicho esto, es evidente que todos los estudios expuestos en esta sección convergen en la aplicación de medidas pasivas como primer paso en la reducción del consumo energético, las cuales se deben considerar al momento de la selección de los materiales para construcción del recinto. El entorno juega un papel muy importante en el confort térmico del usuario mediante el uso de sistemas de climatización pasiva. Si se tienen en cuenta estos aspectos al momento de construir cualquier tipo de edificación, se pueden obtener recintos accesibles, de alta calidad y respetuosos con el entorno; dicho de otra manera, ecosostenibles. Esto se sustenta en el estudio de [12] en el que comparan dos edificios de oficinas, uno sostenible y el otro tradicional, presentando el edificio sostenible un 35% menos en costos respecto al edificio tradicional.

## 1.2. Objetivo del estudio

En este sentido, el objetivo de este estudio es evaluar el rendimiento térmico y energético de una edificación bioclimática a través de simulación dinámica, con miras a ser autosuficiente (utilizando energías renovables). Este objetivo se pretende alcanzar, primeramente, evaluando el rendimiento térmico de la edificación en modo pasivo a través de indicadores de confort térmico, y niveles de CO<sub>2</sub>. Segundo, evaluando el rendimiento energético de la edificación en modo

activo para conseguir el confort interior. Por último, se planea determinar el porcentaje de la demanda energética que puede ser cubierta por energías renovables a través de un dimensionamiento estático y dinámico.

## 2. METODOS Y MATERIALES

### 2.1. Descripción del caso de estudio

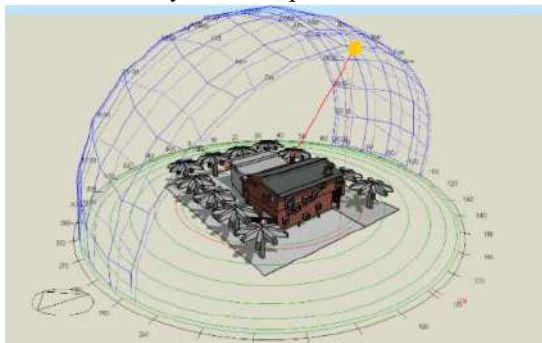
El caso de estudio corresponde a una instalación bioclimática diseñada para comunidades vulnerables en la provincia de Panamá, distrito de Panamá, por su situación precaria y vulnerabilidad social, que permita reducir la necesidad del uso de energía eléctrica de la red.

Dicha instalación está orientada al sur y está constituida por dos edificaciones: la primera, que será el foco de este estudio (Figura 1), cuenta con dos plantas, la cual se ha nombrado como “Edificio 1”.

En total, la instalación posee aproximadamente 286 m<sup>2</sup> de los cuales 72 m<sup>2</sup> corresponden al Edificio 1 y 47.7 m<sup>2</sup> al Edificio 2 y el resto pertenece al patio interno y áreas verdes que rodean la instalación.

Para estudiar el comportamiento térmico y energético, se simuló el Edificio 1 en el software DesignBuilder versión 6.1.8.021, teniendo en cuenta las condiciones climáticas históricas típicas de Panamá (no un año en particular), detalles constructivos, perfiles de ocupación, sistemas de iluminación, entre otras.

Para el diseño de la instalación evaluada en este estudio, se aplicaron diversos elementos y técnicas constructivas que contribuyen a mejorar el desempeño térmico de la edificación: chimenea solar, antepecho ventilado, rejillas de ventilación, bandejas reflectoras o estantes de luz, pintura blanca en el exterior, techos fríos y ventanas pivotantes.



(a)



(b)

Figura 1. Edificación del caso de estudio (edificio 1): (a) modelo 3D de la instalación completa y (b) vista frontal.

### 2.2. Evaluación del rendimiento térmico

Se evaluaron cuatro las siguientes condiciones: Caso 1: caso base en el cual las ventanas permanecen cerradas todo el día y no cuenta con ninguna estrategia bioclimática. Caso 2: con medidas bioclimáticas aplicadas y las ventanas están abiertas durante 24 horas. Caso 3: con medidas bioclimáticas aplicadas y las ventanas están abiertas en un horario de 1:00 p.m. a 9:00 p.m. de lunes a viernes y los fines de semana de 8:00 a.m. a 10:00 p.m. Caso 4: con medidas bioclimáticas aplicadas y las ventanas están abiertas en horario nocturno, de 7:00 p.m. a 7:00 a.m.

### 2.3. Evaluación del rendimiento energético

Para los casos resultantes con mejor rendimiento térmico, se activó el uso del aire acondicionado para las horas en las que no se utiliza la ventilación natural, específicamente para el caso 4, donde se configuró el uso del aire acondicionado de 7:01 a.m. – 6:59 p.m. Incluir la refrigeración, a pesar de representar un aumento energético, contribuye a alcanzar niveles de confort térmico interior.

Para evaluar los niveles de confort térmico, se propone utilizar los indicadores de Voto Meddido Previsto (VMP) por la existencia de sistemas mecánicos y el porcentaje de personas insatisfechas (PPD). Según exponen los autores en [13], entre los -0.5 y +0.5 son los niveles adecuados de VMP para edificios nuevos; y para el PPD ningún espacio ocupado debe superar 20%. Sin embargo, los autores en [14] presentan que el VMP se evalúa en una escala que va de -3 a 3, en la cual -3 es muy frío; -2 es frío; -1, moderadamente frío; 0, neutral; 1, moderadamente caliente; 2, caliente y 3, muy caliente.

### 2.4. Evaluación del potencial de generación renovable

Se proponen dos enfoques para la evaluación del potencial de generación renovable, por un lado, el dimensionamiento estático que se basa en un escenario con las características del sistema fotovoltaico, la radiación según el promedio diario más débil y la demanda eléctrica de la edificación. Por otro lado, el dimensionamiento dinámico del sistema, por el contrario, considera la inclinación, orientación y la dinámica de disponibilidad solar del sitio donde se encuentra la edificación.

#### 2.4.1. Dimensionamiento estático de un sistema fotovoltaico

Se definió la cantidad de módulos según el área de techo disponible para el Edificio 1, como se muestra en la Tabla 1 para un módulo de 2.22 m<sup>2</sup> y una potencia nominal de 450 W. Con los datos expuestos en la Tabla 1, en conjunto con la Tabla 2, se obtuvo la potencia teórica generada por los paneles para el Edificio 1.

Para calcular la potencia nominal del sistema fotovoltaico, la cantidad del módulo fue multiplicada por la potencia fotovoltaica, y la energía generada se calculó utilizando las siguientes ecuaciones:

Para calcular la potencia nominal del sistema fotovoltaico, la cantidad del módulo fue multiplicada por la potencia fotovoltaica, y la energía generada se calculó utilizando las ecuaciones (1) y (2):

$$P_{ins} = NP_n \quad (1)$$

$$W_{el} = \frac{\phi_{daily}}{\phi_{STC}} k_{eff} P_{ins} \quad (2)$$

Donde  $P_{ins}$  es la potencia instalada en kW, N es el número de módulos, y  $P_n$  es la potencia nominal del módulo en kW.  $W_{el}$  es la electricidad generada en kWh,  $\phi_{daily}$  es la irradiación solar diaria en el módulo en kWh,  $\phi_{STC}$  es la irradiación solar para condiciones de ensayo estándar (1 kW m $\phi_{STC}^{-2}$ ), y  $k_{eff}$  es el factor de corrección del rendimiento del sistema 0,85 recomendado [15,16]

**Tabla 1.** Dimensionamiento estático del sistema fotovoltaico.

Áreas en m <sup>2</sup>		Número de módulos	Potencia instalada en W
Techo A	23.17	10	4696.82
Techo B	37.91	17	7684.97
<b>Área total del techo</b>	61.08	<b>P. instalada total kW</b>	<b>12.38</b>

#### 2.4.2. Dimensionamiento dinámico de un sistema fotovoltaico

Una desventaja del dimensionamiento estático es que, en sus cálculos, distribuye el área del módulo fotovoltaico en el área disponible de techo. Sin embargo, no considera la disposición del módulo en el techo, por lo que, en el dimensionamiento dinámico, la cantidad de módulos utilizados es menor y la generación eléctrica se acerca más a la realidad.

Si bien en el dimensionamiento estático se tomó en cuenta el espacio de la chimenea solar, no se había considerado la proyección de sombras de este elemento, lo que también contribuyó en la disminución de módulos utilizados.

Lo anterior se lleva a cabo directamente en el software Designbuilder con su módulo de energía renovable, que permite la incorporación de las características de los módulos fotovoltaicos, considerando lo antes expuesto.

#### 2.4.3. Evaluación de la huella de carbono equivalente operacional de la edificación

Toda actividad humana lleva consigo la generación de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Un indicador ambiental que permite identificar el rastro de GEI de una actividad es la huella de carbono equivalente, ya que estima las emisiones de los GEI, ya sean directas o indirectas.

Para obtener la generación de dióxido de carbono equivalente operacional de la edificación. El software Designbuilder calcula emisiones de CO<sub>2</sub> multiplicando el consumo de combustible simulado por el factor de emisión de para ese combustible, siendo este factor variable según la región para la cual se realice la simulación [17].

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Evaluación del rendimiento térmico

Se evaluaron los casos descritos anteriormente para obtener el potencial climático de ventilación natural (PCVN), presentado en la Tabla 2, junto con las horas favorables de ventilación mensual calculadas a partir de los datos resultantes de la simulación en Designbuilder.

Según lo expuesto en la Tabla 2, el caso 4 (ventilación natural nocturna) presenta resultados más favorables en comparación al resto. Sin embargo, el segundo mejor resulta ser el caso base, el cual no tiene ninguna estrategia bioclimática aplicada y las ventanas cerradas durante todo el día todos los días. Esto se atribuye a que el PCVN considera en conjunto que la Temperatura exterior debe ser menor a la temperatura interior inferior y mayor a la temperatura interior superior, siendo estas definidas por la temperatura de confort; y a su vez, la humedad relativa según la normativa, debe ser considerada entre 30 y 70% [18]

Según lo expuesto en la Tabla 2, el caso 4 (ventilación natural nocturna) presenta resultados más favorables en comparación al resto. Sin embargo, el segundo mejor resulta ser el caso base, el cual no tiene ninguna estrategia bioclimática aplicada y las ventanas cerradas durante todo el día todos los días. Esto se atribuye a que el PCVN considera en conjunto que la Temperatura exterior debe ser menor a la temperatura interior inferior y mayor a la temperatura interior superior, siendo estas definidas por la temperatura de confort; y a su vez, la humedad relativa que según la ASHRAE 55, debe ser considerada entre 30 y 70%.

Si se evaluaran ambos criterios individualmente, se puede observar que la temperatura del aire en el caso 1 supera al límite superior de 28.5 °C según el rango de confort en Panamá (23.5 a 28.5 °C) [19].

Para el caso 2, la temperatura del aire se encuentra dentro del rango de confort al menos cinco meses del año, presentando mejor rendimiento que el caso 1 en este aspecto.

En el caso 3, la temperatura del aire se encuentra dentro del rango de confort en la mayor parte del año.

Respecto al caso 4, la temperatura del aire a lo largo del año se encuentra completamente dentro del rango de confort establecido.

**Tabla 2.** Potencial climático de ventilación natural.

	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4	
	Horas favorables de VN	PCVN	Horas favorables de VN	PCVN	Horas favorables de VN	PCVN	Horas favorables de VN	PCVN
Ene	206	27.69%	170	22.85%	178	23.92%	188	25.27%
Feb	216	32.14%	183	27.23%	195	29.02%	194	28.87%
Mar	253	35.14%	236	32.78%	242	33.61%	209	29.03%
Abr	178	24.72%	154	21.39%	163	22.64%	202	28.06%
May	56	7.53%	47	6.32%	43	5.78%	142	19.09%
Jun	32	4.44%	27	3.75%	21	2.92%	100	13.89%
Jul	57	7.66%	48	6.45%	47	6.32%	136	18.28%
Ago	22	2.96%	35	4.70%	29	3.90%	135	18.15%
Sep	18	2.50%	21	2.92%	20	2.78%	100	13.89%
Oct	37	4.97%	33	4.44%	37	4.97%	104	13.98%
Nov	47	6.53%	38	5.28%	37	5.14%	97	13.47%
Dic	96	12.90%	92	12.37%	85	11.42%	178	23.92%
<b>Prom anual</b>	<b>101.50</b>	<b>14.10%</b>	<b>90.33</b>	<b>12.54%</b>	<b>91.42</b>	<b>12.70%</b>	<b>148.75</b>	<b>20.49%</b>

Por otro lado, en ningún caso se logra alcanzar la temperatura de confort calculada para la obtención del PCVN, ya que temperaturas tan bajas en este clima y sitio solo son alcanzables en horas de 4:00 am a 6:00 am.

Según lo expuesto, el PCVN en este caso de estudio se ve más influenciado por la humedad relativa que por la temperatura del aire. Comparando la humedad relativa en cada caso, los cuales se encuentran por debajo de la humedad exterior, todos sobrepasan el límite superior establecido para confort (70%) en más de la mitad del año. También se observa que, según la apertura para ventilación de cada caso, la

humedad relativa aumenta o disminuye, justificando los resultados obtenidos en la Tabla 2. No obstante, el PCVN no es el único indicador que permite cuantificar la ventilación natural.

### 3.1.1. Horas satisfechas de ventilación natural (HSVN)

En la Tabla 3, se exponen los resultados obtenidos del cálculo de las horas satisfechas de ventilación natural utilizando la plantilla de confort adaptativo de la AHSRAE 55 para un 80% de aceptabilidad.

A diferencia del PCVN, el HSVN considera la tasa de renovación de aire por hora (ACH), temperatura del aire, temperatura radiante, temperatura operativa y la temperatura exterior de bulbo seco.

De los casos expuestos en la Tabla 3, el caso 4 presenta el mayor número de horas dentro del 80% de aceptabilidad. El resto presenta índices consecuentes según su horario de apertura de ventanas para ventilación natural por efecto del ACH.

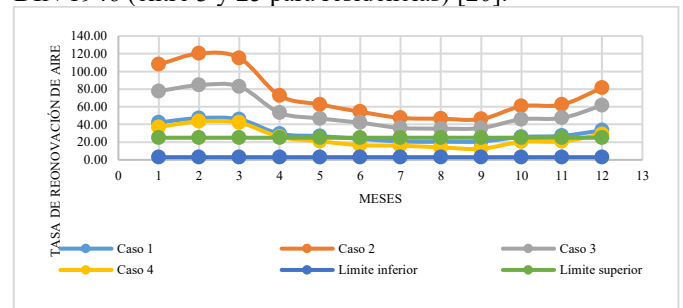
**Tabla 3.** Horas satisfechas de ventilación natural

	Horas medidas NO válidas:	Horas medidas válidas:	Horas medidas TOTALES:	Horas dentro de 80% de aceptabilidad:		Horas fuera de 80% de aceptabilidad:	
Caso 1	6	8,754	8,760	3,867	44.17%	4,887	55.83%
Caso 2	0	8,760		5,093	58.14%	3,667	41.86%
Caso 3	0	8,760		5,712	65.21%	3,048	34.79%
Caso 4	1	8,759		6,115	69.81%	2,644	30.19%

### 3.1.2. ACH y velocidad del aire interior

La tasa de renovación de aire expresa el caudal de aire enviado, en este caso del exterior, por cada entrada de aire al interior del recinto por unidad de hora en relación con el volumen total del recinto evaluado. Por lo que es un parámetro importante en la determinación de los resultados expuestos en la Tabla 3.

En la Figura 2, se observa el ACH mensual según cada caso y cómo supera el número recomendado de ACH por la norma DIN 1946 (entre 3 y 25 para residencias) [20].



**Figura 2.** Tasa de renovación de aire para cada caso del Edificio 1.

En la Figura 2, se observa más en detalle que los casos que presentan un mayor número de horas con las ventanas abiertas, el ACH alcanza valores de hasta 120 renovaciones por hora en los meses de verano. Sin embargo, no es el principal factor

determinante en el confort de una vivienda, como se evidenció en los resultados del PCVN (Tabla 2) y HSVN (Tabla 3).

Otro punto considerado para definir las condiciones de confort por ventilación natural en una edificación es la velocidad del aire interior, la cual puede brindar un efecto de enfriamiento adicional, como se muestra en la Tabla 4. Sin embargo, esta no considera el porcentaje de humedad relativa.

**Tabla 4.** Disminución de la temperatura del aire en función de la velocidad de movimiento del aire [21].

Velocidad (m/s)	Temperatura del aire (°C)			
	15	20	25	30
Menor a 0.1	0	0	0	0
0.25	2.0	1.3	0.8	0.5
0.5	4	2.7	1.7	1.0
1	6.7	4.5	2.8	1.7
1.5	8.5	5.7	3.5	2
2	10	60.7	4	2.3

Fumadó [22] señala que una velocidad inferior a 0.1 m/s resulta una sensación de falta de aire, que provoca inconformidad en el ocupante. En otros estudios, como el de [23] se muestra que para un rango de temperatura de 26 a 32°C y humedad relativa de 40 a 90% las velocidades del aire óptimas según los sujetos estudiados van desde los 0.28 a 0.39 m/s, alcanzando estas temperaturas utilizando ventiladores.

Sin embargo, hay que tener presente que la sensación de confort depende más del ocupante que de la fuente con que se genere la ventilación. En la Tabla 5, se expone el número de horas al año para cada caso en el que se alcanzan velocidades óptimas de aire interior.

El caso 2 presenta el mayor número de horas al año, pues se aprovecha la ventilación natural todo el día todos los días a diferencia de los otros casos. No obstante, tomando en consideración todo lo evaluado anteriormente el caso más favorable es el de ventilación natural nocturna (caso 4), ya que presenta el mayor número de horas favorables al año para el uso de ventilación natural (66% aproximadamente), de igual manera es el caso con mayor PCVN.

**Tabla 5.** Horas anuales de velocidad de aire interior óptima.

	Horas anuales iguales o mayores a 0.28 m/s	Horas anuales mayor a 0.1m/s
Caso 1	0	2538
Caso 2	1710	7222
Caso 3	732	5690
Caso 4	26	2506

### 3.2. Evaluación del rendimiento energético

#### 3.2.1. Iluminación natural

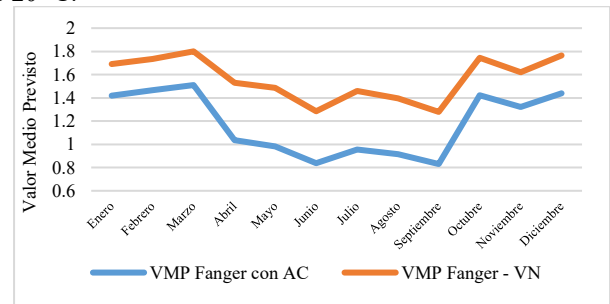
En el caso 4 del Edificio 1, el consumo anual de iluminación es de 1391.89 kWh, lo que podría disminuir si se utilizase el control lineal de iluminación; sin embargo, en este caso se priorizó el confort térmico de la edificación, ya que al utilizar la ventilación natural nocturna las ventanas permanecen

cerradas durante el día y para evitar el aumento de la temperatura interior, se le colocaron persianas con el mismo horario de apertura de las ventanas.

Si se mantienen las luces encendidas durante todo el día para el caso 2 mencionado, el consumo en este rubro es de 174.68 kWh. Utilizando el control lineal, el consumo en iluminación disminuye a 90.96 kWh, mejorando el rendimiento energético en lo que respecta a iluminación.

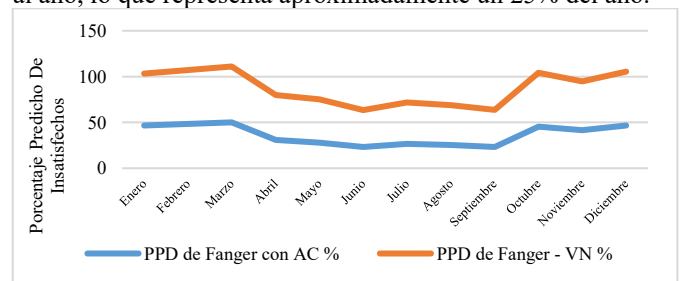
#### 3.2.2. Uso del acondicionamiento de aire

En la Figura 4, se observa que a pesar de que la ventilación natural no cumple con el rango recomendado para VMP, este si se mantiene durante la mayoría del año en el área moderadamente caliente; de igual manera, el aire acondicionado no permite llevar al VMP al rango recomendado de 0.5, pero sí logra mantenerse en un ambiente entre neutro, para los meses de lluvia, y moderadamente caliente, para el resto del año. Esto puede deberse a que la temperatura mínima establecida para el aire acondicionado fue de 20 °C.



**Figura 4.** VMP- Edificio 1 - Caso 4.

En la Figura 5, se observa que mensualmente el PPD supera el porcentaje máximo recomendado de 20%, incluso en los meses de lluvia. Este porcentaje solo es alcanzado 2176 horas al año, lo que representa aproximadamente un 25% del año.



**Figura 5.** PPD - Edificio 1 - Caso 4.

### 3.3. Evaluación del potencial de generación renovable

#### 3.3.1. Dimensionamiento estático de un sistema fotovoltaico

En la tabla 6 se presenta el detalle del dimensionamiento estático de un sistema fotovoltaico para la obtención de la potencia generada por los módulos.

**Tabla 6.** Electricidad y Potencia generada.

Mes	$\phi$ daily			
-----	--------------	--	--	--

	(kWh m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Wel (KWh/d)	Potencia generada por los módulos (KWh)	Consumo total mensual (KWh)
Enero	5.04548	53.1	1646.14	818.39
Febrero	5.19571	54.68	1531.11	726.39
Marzo	5.57774	58.7	1819.8	859.83
Abril	4.81767	50.7	1521.11	828.74
Mayo	4.33677	45.64	1414.92	952.69
Junio	4.61633	48.58	1457.54	854.61
Julio	4.4971	47.33	1467.22	896.5
Agosto	4.51032	47.47	1471.54	874.22
Septiembre	4.45	46.83	1405.02	807.45
Octubre	4.45935	46.93	1454.91	868.82
Noviembre	4.05567	42.68	1280.52	805.64
Diciembre	4.66323	49.08	1521.42	862.11
<b>Anual</b>			<b>17991.3</b>	<b>10155.4</b>

En la Figura 6, se observa que para el Edificio 1 se utilizaron 20 módulos en total (5 en el techo A y 15 en el techo B). Esto dio como resultado lo expuesto en la Figura 7, en la que muestra el consumo eléctrico total de iluminación y refrigeración, y en conjunto con la generación de los módulos según el dimensionamiento estático y el dinámico.



Figura 6. Sistema fotovoltaico dimensionado con el método dinámico.

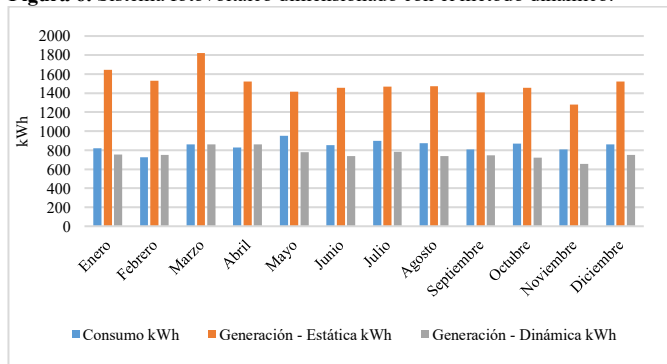


Figura 7. Generación eléctrica por los paneles fotovoltaicos.

Teniendo en cuenta lo expuesto en la Figura 7, el balance energético resultante es de 1021.36 kWh, donde el consumo anual es de 10155.39 kWh, considerando un consumo máximo de refrigeración, y la generación dinámica anual es de 9134.05 kWh. Esto indica que, a pesar de cubrir gran parte de la

demanda energética, el Edificio 1 no alcanza un balance neto cero. Sin embargo, esto puede lograrse si se ajustan los horarios de consumo de aire acondicionado a menos de 12 horas diarias.

### 3.3.2. Evaluación de la huella de carbono equivalente operacional de la edificación

En la Figura 8, se muestra el comportamiento del Edificio 1 respecto a la generación de dióxido de carbono.

Se evidencia que para los meses en que la generación fotovoltaica iguala o supera el consumo, la gráfica toma valores negativos, lo que indica cómo el sistema fotovoltaico compensa las emisiones de dióxido de carbono en esos meses.

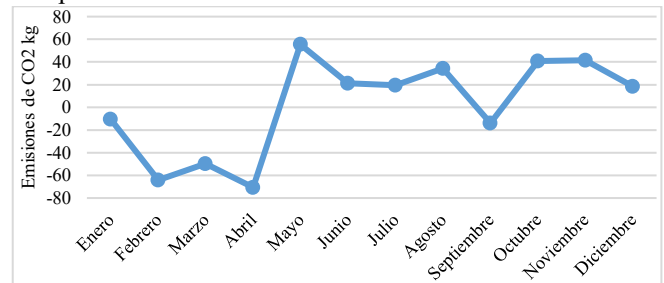


Figura 8. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes como balance entre lo consumido menos lo generado de energía eléctrica.

Anualmente las emisiones de CO<sub>2</sub> para el Edificio 1 es de 22.2 kg, por lo que, la edificación se clasificaría como clase A por tener un consumo inferior a 10 kg CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> al año (0.31kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> al año), teniendo en cuenta que este estudio no considera el comportamiento de los ocupantes ni el consumo energético de los artefactos que no corresponden a iluminación ni a confort térmico.

## 4. DISCUSIÓN

En primera instancia, las estrategias bioclimáticas ayudan a reducir el consumo energético, el confort mediante el aprovechamiento de los recursos naturales que provee el entorno de la edificación a la cual se apliquen. En este estudio, se evaluaron, principalmente, elementos que permitieran aprovechar en mayor medida la ventilación natural, como antepecho de ventanas, ventanas pivotantes, rejillas y la chimenea solar. Adicionalmente se emplearon aislantes en el techo, sistemas de sombreado, techos fríos o frescos y la orientación de la vivienda es crucial en la búsqueda del confort térmico.

El estudio de [11] coincide en el uso de estas estrategias y la ventilación natural como principal fuente de confort térmico. Sin embargo, mencionan que es de suma importancia considerar en la fase de diseño el uso de aire acondicionado y ventilación mecánica, a fin de complementar las estrategias bioclimáticas aplicadas. También, es importante aplicar en conjunto con lo antes mencionado, sistemas de sombreado para reducir la temperatura interior. Para este último punto, se indica que son más eficaces los sistemas de sombreado

situados en el exterior que en el interior, representando temperaturas menores en 1 o 2°C en comparación con el presente estudio.

Por otro lado, en el estudio [10], también se destaca la influencia del uso de sistemas de sombreado y aislamiento en las paredes en la reducción de la demanda total de energía de refrigeración (70% aproximadamente). Confirmando lo antes expuesto y lo presentado en este estudio, [8] evidencian que el uso de sistemas de sombreado y techos impermeabilizados logran reducir el uso de sistemas de refrigeración, como el aire acondicionado y/o ventilación mecánica, presentando ahorros de hasta 10% en el consumo energético por climatización.

De los resultados analizados en la sección 3.1 de la evaluación térmica para el Edificio 1, se observó que utilizar la ventilación natural nocturna permite reducir la temperatura operativa por lo menos dos grados respecto al caso base, en esto influye también la orientación del edificio y el uso de persianas en las ventanas en las horas que estas permanecen cerradas para evitar el aumento de la temperatura interior. [11], se evaluaron diversas estrategias para un edificio residencial, y para el caso en el que evalúan el efecto de sombra utilizando persianas, orientando la edificación al sur y la ventilación natural, se logra reducir la temperatura operativa por lo menos cuatro grados. Cabe destacar que en este estudio se utiliza un sistema de control para usar la ventilación natural, aire acondicionado y ventilación mecánica según lo requiera el recinto para mantener el confort. Adicionalmente, los cálculos fueron realizados utilizando una tasa de renovación de aire de 90, mientras que en la presente investigación el valor mayor alcanzado para más favorable (caso 4) fue de 45 ACH.

## 5. CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar el rendimiento térmico y energético de la edificación en estudio, en la que se evaluaron cuatro casos, en los cuales se estudió la factibilidad del uso de la ventilación natural y el aire acondicionado para alcanzar el confort térmico. Se evaluó de igual manera el rendimiento energético del uso del aire acondicionado y los beneficios de la iluminación natural en este aspecto y, por consiguiente, las ventajas de implementar un sistema fotovoltaico. Por lo tanto, se concluyó lo siguiente:

- El potencial climático de ventilación natural (PCVN) se ve influenciado de manera significativa por la humedad presente en el clima de Panamá, ya que, el máximo PCVN calculado fue de 20% de horas al año en las que el clima era favorable para el uso de la ventilación natural. Este porcentaje se considera muy bajo a pesar de que se lograron alcanzar temperaturas dentro del rango de confort en gran parte del año. Sin embargo, la humedad relativa se mantiene por encima del 70% más de la mitad del año.
- En el cálculo de las horas satisfechas de ventilación natural (HSVN), se consideraron otros factores, como la tasa de renovación del aire, la temperatura del aire, temperatura

radiante, temperatura operativa y temperatura exterior de bulbo seco, que permitieron obtener el número máximo de horas en el que el aire exterior es favorable para la ventilación natural según el 80% de aceptabilidad de ASHRAE 55. Utilizando estos factores, se obtuvo que un 70% para el Edificio 1 de las horas en el año favorables para la ventilación natural, evidenciando que se pueden satisfacer los requisitos de confort térmico interior utilizando la ventilación y complementándola con medidas activas de climatización, como lo puede ser el uso de ventilación mecánica y/o aire acondicionado.

- Otro parámetro importante que influyó en el confort térmico interior de ambos edificios es la orientación de ellos, ya que al estar la construcción orientada al sur gran parte del año el viento fluye en dirección de las ventanas principales de la edificación y el sol no incide directamente en ellas, por lo que, de haber estado orientada en dirección de la salida o puesta del sol, la temperatura interior sería mucho más elevada.
- En lo que a rendimiento energético se refiere, un componente que permite lograr ahorros significativos es el uso del control lineal para aprovechar al máximo la luz natural. Esto permite obtener ahorros de hasta un 48% del consumo energético por luminarias.
- El uso de aire acondicionado en el caso evaluado (caso 4) fue propicio para que la edificación pudiera situarse dentro del rango de confort térmico sugerido; no obstante, utilizando únicamente la ventilación natural, la edificación no se encontró en un punto crítico de calor.
- El uso de fuentes de energía renovables ayuda en gran medida a reducir e incluso compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las actividades humanas, como es el caso de las emisiones indirectas por el consumo energético. Es decir, que reducen la huella de carbono.

## AGRADECIMIENTO

Al grupo de investigación Energética y Confort en Edificaciones Bioclimáticas (ECEB) parte de la Facultad de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Tecnológica de Panamá. Esta investigación fue financiada por la SENACYT, bajo el proyecto IDDS22-30, así como apoyada por la Fundación Innova y el Sistema Nacional de Investigación (SNI). Un agradecimiento especial, a la Arquitecta Angela Collado de Mendes DaSilva por ceder los planos de la edificación que fue evaluada en esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Available at <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>.
- [2] E. Soto-Estrada, F. Álvarez-Carrascal, J. Gómez-Lizarazo and D. Valencia-Montoya, *Confort térmico en viviendas de Medellín*, Issn 18 (2019), pp. 2248–4094.

- [3] I. Blasco Lucas and L. Hoesé, *Definición de estrategias de acondicionamiento térmico edilicio para San Juan a partir de un 11 año tipo climático*, Arquitecno (2016), pp. 21.
- [4] I. Blasco Lucas, *Rehabilitación sustentable de vivienda barrial masiva en clima semi-árido: Evaluación termo-energética y microeconómica*, Informes de la Construcción 73 (2021), pp. e375–e375.
- [5] I. Blasco Lucas, *Rehabilitación sustentable de vivienda barrial masiva en clima semi-árido: Evaluación termo-energética y microeconómica*, Informes de la Construcción 73 (2021), pp. e375–e375.
- [6] *Etiquetado de Viviendas*. Available at <https://etiquetadoviviendas.mecan.gov.ar/>.
- [7] D. Kuchen, Ernesto; Kozak, *Energética en la Evaluación de la Vivienda Social. Caso De Estudio : Vivienda de Barrio Papa Francisco*, Revista Hábitat Sustentable 10 (2020), pp. 44–55.
- [8] O.-C. Palacios-Hernandez, Rodriguez-Leon;, Gomez-Rodriguez; and Ovando-Chacon, *Simulación del consumo termo-energético de tres viviendas en Veracruz , México usando EnergyPlus*, Veracruz, México, 2020.
- [9] I. Sobhy, A. Brakez and B. Benhamou, *Analysis for thermal behavior and energy savings of a semi-detached house with different insulation strategies in a hot semi-arid climate*, Journal of Green Building 12 (2017), pp. 78–106.
- [10] A. Shandilya, M. Hauer and W. Streicher, *Optimization of thermal behavior and energy efficiency of a residential house using energy retrofitting in different climates*, Civil Engineering and Architecture 8 (2020), pp. 335–349.
- [11] A. Figueroa-Lopez, A. Arias, X. Oregi and I. Rodríguez, *Evaluation of passive strategies, natural ventilation and shading systems, to reduce overheating risk in a passive house tower in the north of Spain during the warm season*, Journal of Building Engineering 43 (2021), pp. 102607.
- [12] C. Chamorro González, L.V. Hoepfner Gutiérrez, C. Montaña Gallego and I.V. Ríos Londoño, *Procesos de gestión : los edificios sostenibles frente a los edificios tradicionales* , Act 17 (2019), pp. 177–203.
- [13] M. Chen Austin, M. Castillo, K. Carrizo, Á. De Mendes Da Silva and D. Mora, *Evaluación del rendimiento térmico y estrategias bioclimáticas de un edificio Universitario en clima tropical húmedo*, Revista de Iniciación Científica 7 (2021), pp. 16–23.
- [14] *What Is PMV? What Is PPD? The Basics of Thermal Comfort*. Available at <https://www.simscale.com/blog/what-is-pmv-ppd/>.
- [15] E.L. Didoné, *Parametric study for net zero energy building strategies in Brazil considering semi-transparent PV windows* Department of Architecture, Karlsruhe Institute of Technology – KIT, 2020.
- [16] C. Zomer, J. Urbanetz and R. Rütther, *On the compromises between form and function in grid-connected building-integrated photovoltaics (BIPV) at low-latitude sites*, 30th ISES Biennial Solar World Congress 2011, SWC 2011 3 (2011), pp. 2204–2214.
- [17] *Legislative Region Templates - Emissions*. Available at [https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Legislative\\_Region\\_Templates\\_-\\_Emissions.htm](https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Legislative_Region_Templates_-_Emissions.htm).
- [18] N. Yoon, L. Norford, A. Malkawi, H. Samuelson and M.A. Piette, *Dynamic Metrics of Natural Ventilation Cooling Effectiveness for Interactive Modeling*, Build Environ 180 (2020), pp. 1–39.
- [19] Secretaría Nacional de Energía, *Anexo N.º1*, 2016.
- [20] CASALS, *Cómo calcular las renovaciones por hora según la actividad de un local*, 2019.
- [21] J.L. Fumadó, *Principios físicos: ventilación+ humedad+ ábacos psicrométricos.*, 2019.
- [22] J.L. Fumadó, *Principios físicos: ventilación+ humedad+ ábacos psicrométricos.*, 2019.
- [23] J. Zhou, X. Zhang, J. Xie and J. Liu, *Occupant's preferred indoor air speed in hot-humid climate and its influence on thermal comfort*, Build Environ 229 (2023).

## Calidad de puntos de control en imágenes aéreas obtenidas mediante uso de vehículos no tripulados

Quality of control points in aerial images obtained through the use of unmanned vehicles

*Enrique Pinto<sup>1a</sup>, Stephanie Wong<sup>1b</sup>, Martín E. Candanedo G.<sup>1c</sup>,*

<sup>1a</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

<sup>1b</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

<sup>1c</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

*enrique.pinto@utp.ac.pa, stephanie.wong@utp.ac.pa, martin.candanedo@utp.ac.pa*

<sup>1a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7253-9203>, <sup>1b</sup> <https://orcid.org/0009-0000-2244-9886>, <sup>1c</sup>

<https://orcid.org/0009-0006-1871-8864>

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 18 de enero de 2025.

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6854>



**RESUMEN:** El trabajo de investigación realiza un análisis en el uso de puntos de control utilizados en los levantamientos fotogramétricos con vehículos no tripulados (Drones) y se aborda la importancia de la ubicación y el número de puntos de control necesarios para garantizar las condiciones de Colinealidad y Coplanaridad [5] requeridos para la construcción de modelos estéreo y la generación de nubes de puntos y ortomosaico utilizados en distintos ámbitos de ingeniería y arquitectura.

**PALABRAS CLASES:** Fotogrametría, Drones, Puntos de Control, Geodesia, DEM.

**ABSTRACT:** The research work carries out an analysis of control points used in photogrammetric surveys with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and the importance of the location and the number of control points necessary to guarantee the conditions of Colinearity<sup>1</sup> and Coplanarity [5] required for the construction of stereo models and the generation of point clouds and orthomosaic used in different fields of engineering and architecture.

**KEY WORDS:** Photogrammetry, Drones, Control Points, Geodesy, DEM

### 1. INTRODUCCIÓN

Los levantamientos fotogramétricos con Drones han facilitado el uso de productos como nube de puntos, modelos digitales de elevación (DEM) y ortomosaicos en proyectos de ingeniería y arquitectura. La calidad de estos productos tiene un impacto directo en el análisis y los diseños a realizar; donde dicha calidad está fundamentada en la cantidad de puntos de control utilizados en el terreno. La Fotogrametría Analítica [4] introduce la consideración del cálculo matemático computarizado y riguroso de coordenadas de puntos en el espacio del terreno con base a

parámetros como: puntos de control en el terreno, la distancia focal y el centro de perspectiva de la cámara aérea, los traslapes longitudinales y lateral y los parámetros de transformación introducidos por el modelo matemático a utilizar para garantizar el cumplimiento de la Colinealidad y Coplanaridad [5] de un par estéreo de imágenes aéreas. Utilizando el modelo matemático de la Ecuación de Colinealidad para resolver por los tres ángulos de rotación de la cámara ( $\omega$ ,  $\phi$  y  $\kappa$ ) y las coordenadas de la estación de exposición con respecto al suelo ( $X_o$ ,  $Y_o$  y  $Z_o$ ) se debe resolver seis incógnitas por lo que requieren al

menos cuatro puntos de control total por cada par estéreo del proyecto fotogramétrico a levantar. La ubicación de estos puntos apunta a una distribución uniforme de los mismo en el par estéreo.

Hoy día la Fotogrametría Digital permite incorporar todas las imágenes digitales levantadas dentro del proyecto fotogramétrico como un todo y tratar cada pixel, de cada imagen, como un punto y aplicar los conceptos fotogramétricos para la generación de productos digitales. Igualmente es de riguroso el proceso de orientación (omega, phi, kappa, Xo, Yo, Zo) de cada par estéreo dentro del bloque fotogramétrico. En este proceso la elevación de los puntos de control y en general el de cada punto dentro de la imagen, son sensibles a los cambios de elevación, con base al concepto básico que se está proyectando el plano generado por el par de imágenes estéreo al plano de elevación promedio del terreno. De no considerar el cambio de elevación entre los puntos del bloque y la elevación promedio se puede incurrir en errores de paralaje que tienen un impacto directo en la calidad de los productos generados a partir del modelo matemático utilizado para la restitución fotogramétrica [4].

Es imperativo el poder determinar cuántos son los puntos de control requeridos en el suelo y su ubicación (longitud, latitud y elevación) en el bloque de imágenes aéreas tomadas. Tradicionalmente en campo, los profesionales de la geomática tratan los levantamientos fotogramétricos realizados con Drones como si el bloque fotogramétrico fuese un par de imágenes, lo cual en principio cumple con lo establecido desde el punto de vista de la Fotogrametría Analítica y la orientación del par estéreo, sin embargo, la pregunta se mantiene, como determinar el número mínimo de puntos de control a utilizar en el terreno y donde deben ser colocados (X,Y y Z) los mismos cuando las características de elevación y localización de cada punto de control varía con respecto a la elevación promedio y como afectan estos cambios de elevación y ubicación en el proceso global de ajuste en bloque fotogramétrico.

## 2. METODOLOGÍA

Con el propósito de evaluar como los cambios en la elevación de cada punto de control y su localización dentro del bloque de imágenes aéreas se diseñó una cuadrícula similar a la introducida por Otto von Gruber [1] mostrado en la Figura No. 1, que resolvió el problema de las orientaciones del par estéreo de forma sistemática y completa. Adicionalmente Gruber junto a Gasser [5] propusieron y diseñaron los procedimientos de concatenación de modelo estéreos generando la base de lo que hoy conocemos Aerotriangulación.

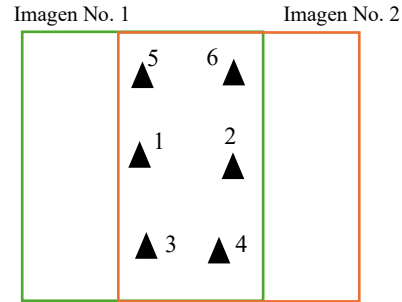


Figura No. 1. Puntos de Otto von Gruber[4]

Se seleccionó un sitio de trabajo dentro del campus Víctor Levi Sasso que presentara variación de elevación como lo muestra la Figura No. 2. El sitio de trabajo presentaba una elevación promedio de 70.388 metros sobre el nivel medio del mar.

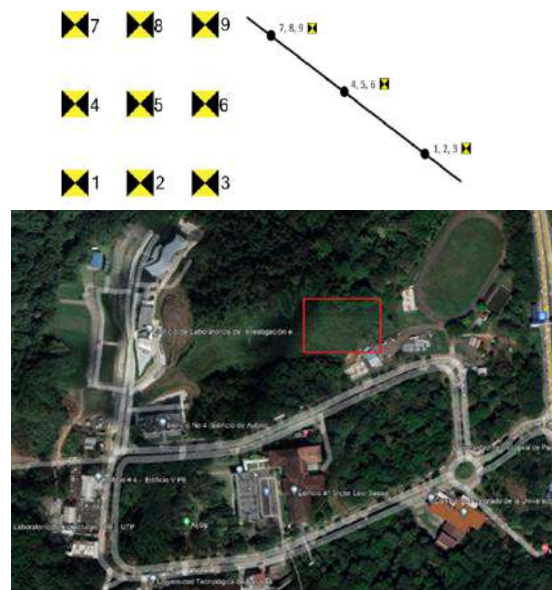


Figura No. 2 . Sitio de Trabajo

Figura No. 3. Vista de Planta y Perfil de los puntos de Control

Se diseñaron los puntos de control artificial a colocar en el grid modificado de Otto von Gruber propuesto en la investigación como se muestran en la Figura No. 3.

Cada marcador (ver Figura No. 4) debe cumplir con las condiciones de distancia de muestreo de terreno (GSD, por siglas en inglés) establecida por la ecuación No. 1 [2].

$$GSD = \frac{Sw * H}{c * imgW} \quad (1)$$

Donde:

- Sw es el ancho del sensor
- H es la altura de vuelo en metros
- c es la distancia focal del sensor
- imgW es el ancho de la imagen en pixeles

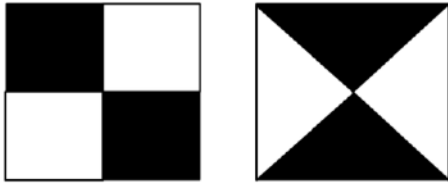


Figura No. 4. Propuesta de diseño de marcadores [1]

El modelo matemático ha utilizar para realizar la restitución fotogrametría y posterior generación de productos de nube de puntos y ortomosaico es la ecuación de Colinearidad (ecuaciones 2a y 2b) [4].

$$x_a = x_0 - f \left[ \frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right] \quad (2a)$$

$$y_a = y_0 - f \left[ \frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right] \quad (2b)$$

Donde:

- $x_a, y_a$  son las coordenadas de la foto de un punto “a” en la imagen.
- $X_A, Y_A$  y  $Z_A$  son coordenadas en del punto “A” en el terreno.
- $X_L, Y_L$  y  $Z_L$  son coordenadas de terreno de la estación de exposición.
- $f$  es la distancia focal de la cámara.
- $x_0, y_0$  son las coordenadas de la estación de exposición en la imagen.
- Las  $m_{i,j}$  son funciones de tres ángulos de rotación y, con mayor frecuencia, omega, phi y kappa son los ángulos empleados en el proceso de orientación y restitución fotogramétrica.

Para el levantamiento Fotogramétrico se seleccionó un Drone multi rotor Mavic 3 Enterprise de la empresa DJI. Considerando la elevación promedio del terreno se seleccionó una altura de vuelo del Drone de 85 metros sobre el nivel medio del mar correspondiente a  $\pm 20\%$  de la altura promedio de terreno.



Figura No. 5. Plan de Vuelo

Se generó el plan de vuelo desde la aplicación del Drone como se muestra en la Figura No. 5, con una resolución en el terreno de 2.35 cm por pixel, definiendo un traslape longitudinal de 80 % y lateral del 60 % y una huella en el terreno de 289 m x 193 m y un tiempo de vuelo de 14 minutos y 30 segundos. Además, se seleccionó la proyección UTM Zona 17 Norte, el datum geodésico WGS84.

Cada punto de control fue medido mediante un levantamiento Geodésico estático utilizando estaciones GPS South doble frecuencia. El ajuste fotogramétrico fue desarrollado utilizando el software Drone2Map de la empresa ESRI [2].

Con el objetivo de evaluar el impacto de la ubicación y elevación del punto de control, en el proceso de ajuste fotogramétrico se desarrolló el proceso variando el número de puntos de control y su ubicación dentro el grid de control propuesto (ver Figura No. 3). Es decir, realizar una serie de combinaciones de ubicación y combinación de puntos de control y luego verificar los resultados comparando las coordenadas de aquellos puntos de control que no fueron utilizados como tal y determinar el error en la definición de las coordenadas de los puntos no utilizados en el proceso de ajuste Fotogramétrico. Se estableció una tolerancia de 3 mm para definir la calidad de los resultados estimados de desplazamiento dX, dY y dZ. El proceso para determinar cuántas iteraciones serán necesarias se basa en el cálculo de combinaciones [3], en lugar de permutaciones (ver ecuación No. 3), ya que el punto de interés radica en la selección de elementos, en lugar del orden en que se seleccionan.

$$\frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (3)$$

Donde:

n es el tamaño de la muestra

r es la porción elegida de la muestra

El tamaño de la muestra “n” viene dado por la cantidad de puntos disponibles, es decir, los nueve (9) puntos geodésicos levantados por GPS. La porción de la muestra “r” viene dada por el número de puntos que se seleccionan como puntos de control (GCP) para el procesamiento. De

esta manera y para este caso de estudio particular, “n” resulta en una constante (n = 9) y “r” varía dependiendo de los GCP seleccionados (0 < r < 9).

### 3. RESULTADOS

Una vez obtenidos todos los informes de los ajustes Fotogramétricos, se transcribieron a tablas de resultados y se elaboraron las gráficas con los desplazamientos (dX, dY y dZ) según la cantidad de puntos de control que se utilizaron, es decir, se realizaron nueve tablas y ocho gráficas. Las combinaciones que usan cero (0) y nueve (9) puntos de control no poseen gráfica debido a que ambos casos resultan en solo una combinación.

Al usar un solo punto de control se obtienen nueve (9) posibles combinaciones donde el punto P3, mostrado en la Figura No. 6, es el que posee el menor desplazamiento relativo promedio entre dX, dY y dZ (7 mm), y que el punto P2 posee un desplazamiento dZ elevado (29 mm por encima del dZ promedio de 13 mm).

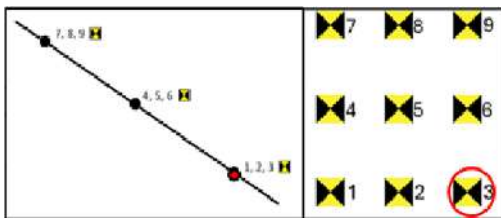


Figura No. 6. Mejor resultado con un punto de control

Al utilizar dos puntos de control se obtuvieron 36 diferentes combinaciones, siendo la combinación con conteniendo los puntos P3 y P6 la que obtuvo el menor desplazamiento relativo promedio entre dX, dY y dZ (11 mm). Los valores de dX y dY poseen un comportamiento sinusoidal, que oscila entre los 6 mm y 28 mm, con la excepción de la combinación que usa los puntos P2 y P8. La Figuras No. 8 y No. 9 muestran los resultados de combinaciones con (P2-P5, P2-P6, P2-P8) donde se obtienen mejores resultados de dZ de 8 mm pero lejos de la tolerancia de 3 mm.

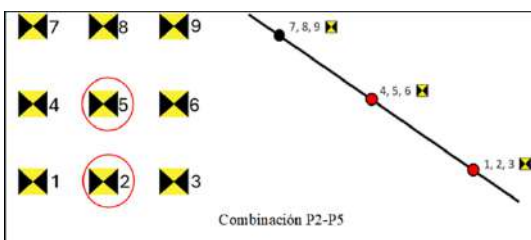


Figura No. 7. Mejor resultado con dos puntos de control

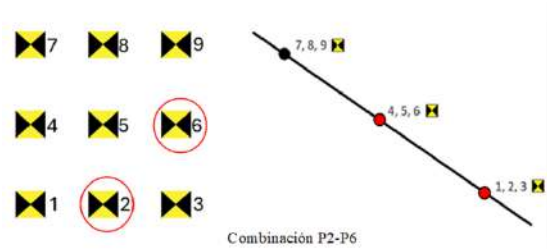


Figura No. 8. Mejor resultado con dos puntos de control

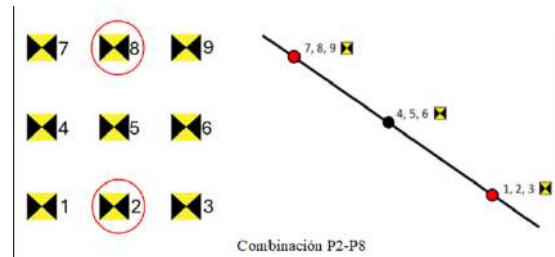


Figura No. 9. Mejor resultado con dos puntos de control

Al utilizar tres puntos de control se obtuvieron 84 diferentes combinaciones, siendo la combinación mostrada en la Figura No. 10, con los puntos P1, P4 y P8 la que obtuvo el menor desplazamiento relativo promedio entre dX, dY y dZ (1 mm).

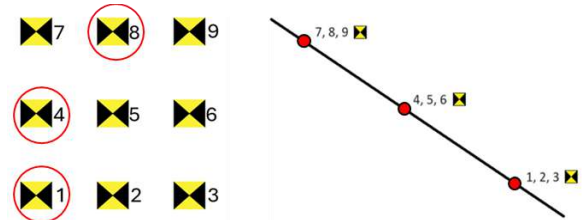


Figura No. 10. Mejor resultado con tres puntos de control con mínimo desplazamiento

La Figura No. 11, muestra que la combinación P2-P5-P8 acerca los valores de los tres (3) desplazamientos (dX, dY, y dZ) hacia el valor de la tolerancia requerida de 3 mm.

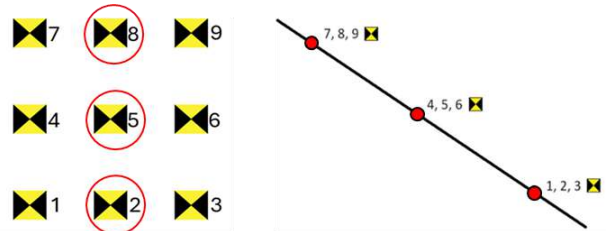


Figura No. 11. Resultado con tres puntos de control cumple la tolerancia

Cuando se utilizan cuatro puntos de control se obtuvieron 126 diferentes combinaciones, siendo la combinación con los puntos P2-P3-P7-P8 la que obtuvo el menor desplazamiento relativo promedio entre dX, dY y dZ (1 mm) y la combinación P2-P3-P6-P8 cumple con la

tolerancia mínimo de 3 mm. Ambas combinaciones son mostradas en la Figura No. 12.

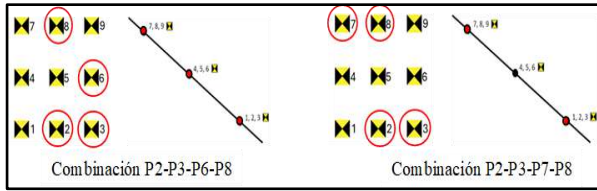


Figura No. 12. Resultado con cuatro puntos de control cumple la tolerancia y presenta el mínimo desplazamiento

Combinando cinco puntos de control se obtuvieron 126 diferentes combinaciones, siendo las combinaciones se resaltan las combinaciones  $P_2-P_3-P_5-P_6-P_9$  y  $P_2-P_3-P_6-P_8-P_9$ . Estas son las únicas combinaciones mostradas en la Figura No. 13 en la que los tres desplazamientos cumplen con la tolerancia de 3 mm y con los puntos  $P_1-P_2-P_4-P_5-P_8$ ,  $P_2-P_3-P_4-P_5-P_8$  y  $P_2-P_4-P_5-P_8-P_9$  las que obtuvieron el menor desplazamiento relativo promedio entre  $dX$ ,  $dY$  y  $dZ$  (2 mm).

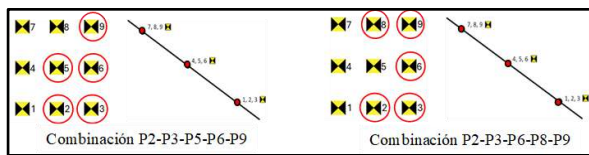


Figura No. 13. Resultado con cinco puntos de control que cumplen con la tolerancia y presenta el mínimo desplazamiento

Planteando seis puntos de control se obtuvieron 126 diferentes combinaciones, siendo la combinación con los puntos  $P_2-P_3-P_4-P_5-P_8-P_9$  la que obtuvo el menor desplazamiento relativo promedio entre  $dX$ ,  $dY$  y  $dZ$  (2 mm) y  $P_2-P_3-P_4-P_6-P_7-P_8$  cumple con la tolerancia de 3 mm. La distribución de ambas combinaciones es mostrada en la Figura No. 14.

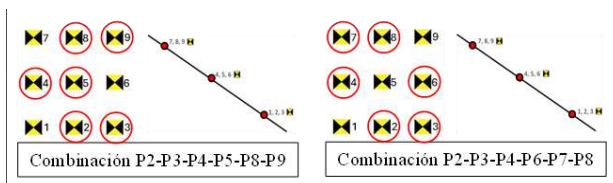


Figura No. 14. Resultado con seis puntos de control que cumplen con la tolerancia y presenta el mínimo desplazamiento

Combinando siete puntos de control se obtuvieron 36 diferentes combinaciones, siendo las combinaciones con los puntos  $P_1-P_2-P_3-P_4-P_5-P_6-P_9$ ,  $P_1-P_2-P_3-P_4-P_5-P_8-P_9$  y  $P_1-P_2-P_4-P_5-P_6-P_7-P_8$  las que obtuvieron el menor desplazamiento relativo promedio entre  $dX$ ,  $dY$  y  $dZ$  (3 mm). La Figura No. 15 presenta la distribución espacial de los puntos de control que generan los desplazamientos mínimos.

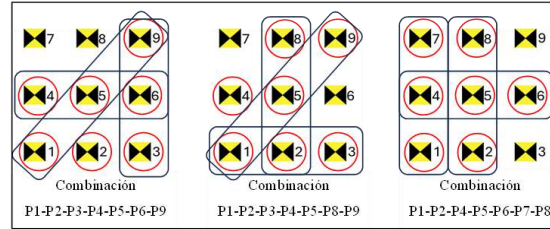


Figura No. 15. Resultado con siete puntos de control que cumplen con la tolerancia y presenta el mínimo desplazamiento

El combinar ocho (8) puntos de control condiciona nueve (9) posibles combinaciones. Se puede observar que los valores de los tres desplazamientos  $dX$ ,  $dY$  y  $dZ$  se acercan aún más a la tolerancia de 3 mm. Las combinaciones que no utilizan los puntos  $P_6$  y  $P_7$  como control son las que poseen el menor desplazamiento relativo promedio entre  $dX$ ,  $dY$ , y  $dZ$  (3.33 mm y 3 mm, respectivamente). La tabla No. 1 muestra el resultado de las combinaciones que cumplen con la tolerancia de 3 mm establecida.

Tabla No. 1 Combinaciones que cumplen con la tolerancia de 3 mm en X, Y y Z

I	GCP	RMSE/PUNTO	X (m)	Y (m)	Z (m)
62	3	P1-P4-P8	0.002	0.000	0.002
196	4	P2-P3-P6-P8	0.003	0.001	0.001
198	4	P2-P3-P7-P8	0.002	0.001	0.001
338	5	P2-P3-P5-P6-P9	0.003	0.002	0.002
344	5	P2-P3-P6-P8-P9	0.003	0.003	0.001
444	6	P2-P3-P4-P6-P7-P8	0.003	0.003	0.002

### 4. CONCLUSIONES

Queda claro que la ubicación y la elevación de los puntos de control tienen una contribución importante en la definición de la calidad de los resultados del proceso fotogramétrico. La tabla No. 1 define claramente la cantidad mínima de puntos de control y su localización, necesarios para cumplir con la tolerancia establecida para cada desplazamiento es de tres (3) puntos. También se observa que las combinaciones más precisas fueron las que utilizan los puntos  $P_1-P_4-P_8$  (3 GCP) y  $P_2-P_3-P_7-P_8$  (4 GCP), ambos con una diferencia promedio de 1.33 mm aproximadamente. Es importante resaltar que los puntos de control fueron establecidos con un rango de variación de  $\pm 20\%$  de la altura promedio del terreno.

En adición, es obvio que al utilizar una mayor cantidad de puntos de control los desplazamientos se van reduciendo, lo que implica una mayor precisión de los datos, sin embargo, este hecho no garantiza que los tres desplazamientos ( $dX$ ,  $dY$ , y  $dZ$ ) cumplan con la tolerancia establecida al mismo tiempo lo cual puede generar resultado sin la calidad esperada y aumentar el costo del levantamiento geodésico. Por ejemplo, en la tabla No. 1 la combinación de  $P_2-P_3-P_6-P_8-P_9$  (cinco puntos de control) proporciona los menores desplazamientos, pero el costo de cinco puntos de control no es la opción esperada.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Ingeniero Moisés Lima, coordinador de la carrera de Ingeniería Geomática de la Facultad de Ingeniería Civil por su apoyo desinteresado para el desarrollo de la presente investigación. Igualmente, importante el agradecimiento al Dr. Jorge Quijada y el Grupo de Investigación del Transporte y el Territorio (GITT).

## REFERENCIAS

- [1] Candanedo, M. (2023). Cartografía con Drones. Apuntes UTP. Ciudad de Panamá, Panamá, Panamá.
- [2] Disfruta las Matemáticas. (s.f.). Combinaciones y Permutaciones. Obtenido de Disfruta las Matemáticas: <https://www.disfrutalasmaticas.com/combinatoria/combinaciones-permutaciones.html>
- [3] ESRI. (2024). Manage Control. Retrieved from ArcGIS Drone2Map: <https://doc.arcgis.com/en/drone2map/latest/help/control.htm>
- [4] Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez Solano, R., Martín, L., & Bachiller, I. (2008). Fotogrametría, 1-134. *Recuperado de [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartograficageodesica-y-fotogrametria/topografiacartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA\\_11\\_FOTOGAMETRIA\\_Y\\_T\\_ELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria\\_cap\\_libro.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartograficageodesica-y-fotogrametria/topografiacartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGAMETRIA_Y_T_ELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria_cap_libro.pdf)*.
- [5] Wolf, Dewitt & Wilkinson. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS. Fourth Edition, McGraw Hill, ISBN 978-0-07-176112-3, 2014

## Aplicación de herramientas de inteligencia artificial en el diseño arquitectónico por estudiantes y profesionales en Panamá

### Application of artificial intelligence tools in architectural design by students and professionals in Panama

<sup>1a</sup>Luis Felipe Donoso, <sup>1b</sup>Esmeralda Pardo, <sup>1c</sup>Magela Cabrera Arias

<sup>1a</sup>Universidad de Panamá, Facultad de Arquitectura y Diseño, Panamá

<sup>1b</sup> Universidad de Panamá, Facultad de Arquitectura y Diseño, Panamá

<sup>1c</sup> Universidad de Panamá, Facultad de Arquitectura y Diseño, Panamá

<sup>1a</sup>[luis.donoso@up.ac.pa](mailto:luis.donoso@up.ac.pa), <sup>1b</sup>[esmeralda.pardo@up.ac.pa](mailto:esmeralda.pardo@up.ac.pa), <sup>1c</sup>[magela.cabrera@up.ac.pa](mailto:magela.cabrera@up.ac.pa)

<sup>1a</sup><https://orcid.org/0009-0006-5711-6225>, <sup>1b</sup><https://orcid.org/0009-0004-4097-2127>, <sup>1c</sup><https://orcid.org/0009-0003-3510-4555>

Fecha de recepción: 05 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 10 de enero de 2025

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6855>



**RESUMEN** Las herramientas basadas en inteligencia artificial (IA) están revolucionando la industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) a nivel mundial al automatizar tareas repetitivas, generar múltiples alternativas, y optimizar el uso de recursos enriqueciendo y mejorando enormemente el proceso de diseño. Este artículo expone los resultados de una investigación con base en un muestreo de conveniencia realizado el día 12 al día 23 de julio del año 2024 entre estudiantes y profesionales de la Arquitectura en Panamá. El propósito del mencionado muestreo de conveniencia fue estar al corriente sobre el conocimiento, aplicación y desarrollo de herramientas de inteligencia artificial en Panamá. Además, se realizó un análisis de la literatura relacionada al uso de la IA en la industria AIC en Panamá. Los resultados muestran un uso incipiente de las herramientas de inteligencia artificial evidenciando un vacío crítico en los procesos de preparación académica de profesionales actuales y futuros –situación esencial para alcanzar avances significativos en la industria AIC panameña. Por otra parte, se incluye -a manera de demostración- la aplicación de una herramienta IA -Stable Diffusion- orientada al desarrollo de alternativas de materiales del concepto arquitectónico de un proyecto y sus beneficios en los procesos de diseño arquitectónico.

**PALABRAS CLAVE** Arquitectura, Ingeniería y Construcción, BIM, inteligencia artificial, concepto arquitectónico, instrucciones IA.

**ABSTRACT** Artificial Intelligence-based (AI) tools are revolutionizing the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry worldwide by automating repetitive tasks, generating multiple alternatives, and optimizing the use of resources, greatly enriching and improving the design process. This article presents the results of a convenience sampling-based research conducted between July 12 and July 23, 2024 among Architecture students and professionals in Panama. The purpose of the aforementioned convenience sampling was to be aware of the knowledge, application, and development of Artificial Intelligence tools in Panama. In addition, a literature analysis was carried out regarding the use of AI in the AIC industry in Panama. The results show an incipient use of artificial intelligence tools, evidencing a critical gap in the academic preparation processes of current and future professionals - an essential situation to achieve significant advances in the Panamanian AIC industry. On the other hand, it includes -as a demonstration- the application of an AI tool -Stable Diffusion- aimed at developing material alternatives of the architectural concept of a project and its benefits in architectural design processes.

**KEYWORDS** AEC, BIM, artificial intelligence, architectural concept, AI prompt.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Panamá, actualmente el diseño de proyectos en el sector Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) realizado en universidades públicas y empresas privadas se ejecuta utilizando la metodología CAD (*Computer Aided Design* o Dibujo Asistido por Computadora), la reciente metodología BIM (*Building Information Modelling* o Modelado de Información de Construcción) o una amalgama de ambas. Los procesos de diseño usando estas metodologías, en especial la metodología CAD, implica que el usuario realiza varias tareas manualmente [1].

La existencia de herramientas basadas en Inteligencia Artificial (IA) ha provocado disrupción en diversas industrias, particularmente las del sector AIC. Este tipo de herramientas generan resultados de forma muy veloz simplificando muchos pasos en el proceso de diseño [2].

Recientemente, las herramientas de la inteligencia artificial y su aplicación en diversas industrias han ganado relevancia particularmente desde el surgimiento de la IA generativa (IAG) (o *GenAI* por sus siglas en inglés) tales como: *ChatGPT* y *Midjourney* que se basan en el desarrollo de modelos de aprendizaje automático o *machine learning (ML)*. Esta categoría de inteligencia artificial consiste en el reconocimiento de patrones y la repetición de estos con base en algoritmos [3].

El alcance de las herramientas de inteligencia artificial es bastante amplio; las más relevantes para la arquitectura abarcan desde complementos o *plugins* integrados a programas como el complemento *Veras* para el programa de modelado BIM *Revit*, hasta programas y software completo como la plataforma de automatización de diseño *ARCHITECHTURES* [4].

En esta investigación, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo valoran o perciben los estudiantes y profesionales de arquitectura en Panamá la integración y funcionalidad de herramientas de inteligencia artificial (IA) en el proceso de diseño arquitectónico?

Los objetivos establecidos fueron los siguientes:

- Objetivo N°1: Determinar la intensidad de uso de herramientas de IA para el diseño arquitectónico, por estudiantes y profesionales de la arquitectura en Panamá.
- Objetivo N°2: Evaluar las ventajas del uso de herramientas de IA generativa para el diseño arquitectónico.

Con esto, se define que está es una investigación cualitativa que posee un enfoque exploratorio (objetivo N°1) con un elemento descriptivo (objetivo N°2) para comprender mejor como se percibe la integración de herramientas IA para el diseño arquitectónico en Panamá (un fenómeno poco estudiado, como se verá a continuación), y como se aplica para evidenciar su funcionalidad.

### 1.1 Clasificación de herramientas de Inteligencia Artificial

Según Des Fagan, director de Arquitectura en la Universidad de Lancaster, las cuatro categorías más populares de herramientas IA en el diseño arquitectónico, en el Reino Unido son [5]:

- **Generación de ideas:** Herramientas que permiten la visualización rápida de ideas generatrices de diseño.
- **Conceptualización de diseños:** Herramientas que posibilitan el cambio de estilo de modelos de proyecto variando materiales e interacciones.
- **Generación de textos:** Herramientas que automatizan y permiten el inicio de la investigación al responder a peticiones de sus usuarios.
- **Registro del estilo de estudios de arquitectura:** Estudios de arquitectura con departamentos de I+D entrenan a sus propios motores de inteligencia artificial para que reproduzcan sus corrientes, estilos y procesos de diseño para nuevos proyectos.

Para complementar y ampliar la explicación anterior, en donde las herramientas se usan en la fase conceptual de diseño; a continuación se presenta una clasificación de herramientas IA que abarca otras fases en la tabla 1 [6], [7].

**Tabla 1.**

*Clasificación de herramientas de IA relevantes a cada fase del diseño arquitectónico.*

Fases del diseño arquitectónico de un anteproyecto de Arquitectura	Categorías de herramientas IA aplicables	Herramientas IA
Pre-Diseño (Análisis de sitio, normativas, programa, etc.)	Plataformas de análisis de datos de ubicación, chatbots y generadores de texto.	Aino, ChatGPT
Diseño conceptual (bocetos, volumetría, etc.)	Generadores de imagen y visualización	Midjourney, DALL-E, Stable Diffusion
Desarrollo del diseño (plantas, elevaciones, modelado 3D)	Plataformas de automatización de diseño para edificios	Hypar, ARCHITECHTURES
Documentación (detalles y planos de construcción)	Extractores de datos y generadores de planos	SWAPP, Blueprints AI, CADDIE

### 1.2 Uso de la inteligencia artificial en el sector AIC de Panamá

El uso de herramientas IA en el sector AIC en Panamá es escaso en comparación con los países anglosajones. De hecho, es posible afirmar que aún se está desarrollando la ejecución de técnicas y herramientas digitales precursoras a la IA como la metodología BIM; documentos afirman que recién en el año 2006 empezó a usarse por algunas firmas arquitectónicas en Panamá [1].

No fue sino hasta el año 2016 que se reconoció en el país a la metodología BIM como un recurso valioso para optimizar el desarrollo de proyectos arquitectónicos, lo que llevó a la creación del BIM Fórum Panamá [8].

No obstante, de alguna manera ha estado presente un discurso sobre la aplicación de las herramientas IA; así lo evidencia, por ejemplo, un anteproyecto de ley presentado en el año 2023 para normar el uso de la inteligencia artificial en Panamá [9].

De hecho, desde ese mismo año han aparecido artículos sobre las herramientas IA en arquitectura en sitios web de empresas [10], y se debate sobre el tema en conferencias académicas verbigracia la ofrecida en la Universidad Católica Santa María La Antigua (USMA) sobre la aplicación de la IA en la arquitectura y el diseño, entre otras [11].

### 1.3 Ventajas del uso de herramientas IA en la rama de Arquitectura del sector AIC panameño

La implementación de herramientas IA en el diseño arquitectónico ofrece conveniencias extraordinarias: genera múltiples alternativas de diseño, automatiza tareas repetitivas, posibilita tomar decisiones veloz e inteligentemente, reduce errores y optimiza recursos. A continuación, se listan los beneficios más relevantes [2].

- Asistencia para el diseño: las herramientas IA pueden generar opciones de diseño basadas en criterios específicos, tales como exigencias del cliente, condiciones del sitio y restricciones presupuestarias, entre otras; lo que acorta el tiempo de exploración del diseño y brinda opciones más creativas y basadas en datos relevantes.
- Experiencia de usuario y diseño centrado en las personas: la IA ayuda a analizar el comportamiento y las preferencias de los usuarios promoviendo decisiones de diseño orientadas primordialmente en las necesidades y expectativas de las personas; esto posibilita proyectar espacios que promueven el bienestar y la productividad.
- Análisis de rendimiento: la IA puede analizar datos de rendimiento de edificios tales como el uso de energía, vida útil, confort térmico, iluminación natural, etc., ayudando a los profesionales de la arquitectura a optimizar los diseños en cuanto a eficiencia energética y sostenibilidad.
- Selección de materiales: la IA puede ayudar a los profesionales de la arquitectura a seleccionar materiales de construcción con base a criterios seleccionados; por ejemplo, impacto ambiental, durabilidad y costo. Además, las herramientas IA generativas posibilitan la visualización inmediata de la selección de materialidad escogida para un proyecto arquitectónico.
- Diseño y visualización virtuales: la realidad virtual (VR por sus siglas en inglés) asistida por IA y las

herramientas de realidad aumentada permitir a los profesionales de la arquitectura visualizar y experimentar sus diseños de manera realista (inmersiva); aumentando así la comunicación sobre el propósito del diseño con colaboradores y clientes, optimizando el proceso general de revisión del diseño.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la construcción del marco teórico se llevó a cabo una búsqueda sistemática de la literatura científica relativa a la aplicación de herramientas de inteligencia artificial en el diseño arquitectónico para conocer el estado de su aplicación y desarrollo en el escenario mundial y regional. Para la búsqueda de información se usaron plataformas académicas como *ScienceDirect.com* y *Researchgate.com*, junto a motores de búsqueda *Google Scholar* y el chatbot *ChatGPT* mediante una variante académica llamada *ScholarGPT* (del cuál se validaron las fuentes empleadas con *Google Scholar*).

Posteriormente se analizaron informes y artículos científicos para determinar estadísticas y otros datos que evidencien el uso y la tendencia del uso de las herramientas tecnológicas usadas en la industria AIC en Panamá.

A continuación, se diseñó un cuestionario con base en las preguntas diseñadas por el RIBA (*Royal Institute of British Architects*) en el *2024 AI Report*, en Gran Bretaña; para un muestreo no probabilístico de conveniencia que se aplicó durante el periodo entre el 12 y el 23 de julio del año 2024 y que se distribuyó de forma digital a través de redes sociales. Ello posibilitó cuantificar la intensidad de uso de las herramientas IA por profesionales y estudiantes universitarios de arquitectura en Panamá [12].

Se optó por implementar este tipo de muestreo debido a que facilita el análisis de datos sin aplicar operaciones estadísticas aunque posee la desventaja de que no se pueden generalizar los resultados [12] [13].

Finalmente, para cumplir con nuestro segundo objetivo de investigación, y a manera de ejemplo de una de las aplicaciones directas en el diseño arquitectónico, exploramos la herramienta de IA generativa llamada *Stable Diffusion*, para generar distintas opciones de diseño a partir de un boceto a mano alzada.

### 2.1 Muestreo de conveniencia para evaluar la intensidad de uso de herramientas de inteligencia artificial (IA) en el diseño arquitectónico en Panamá

El propósito fue indagar la percepción de estudiantes y profesionales de arquitectura en Panamá sobre las herramientas de inteligencia artificial (IA) en el proceso de diseño arquitectónico en Panamá.

Se confeccionó un cuestionario digital con 12 preguntas, con varias similares a las aplicadas por el RIBA (*Royal Institute of British Architects*) *2024 AI Report* a sus miembros orientado

a esclarecer el uso actual y futuro de la IA en la arquitectura en Gran Bretaña [14].

El cuestionario tiene 12 preguntas cerradas de elección múltiple, divididas en tres secciones:

- Sección I, datos generales: provincia donde trabajan, organización a la que pertenecen, nivel de experiencia y herramientas de diseño arquitectónico utilizadas (incluyendo métodos manuales como el dibujo técnico, y programas computacionales de modelado y dibujo CAD ó BIM).
- Sección II, uso de herramientas IA (programas, complementos, etc.): Esta sección a su vez está dividida en dos subsecciones; la primera analiza si utiliza herramientas IA, dos preguntas sobre el nivel de destreza o conocimiento en el uso de tales herramientas y la frecuencia de uso. La segunda parte está dirigida únicamente a quienes usan herramientas IA, e indaga sobre cuales herramientas usan en los procesos de diseño arquitectónico y sobre el nivel de aplicación (frecuencia de uso).
- Sección III, pronósticos y aseveraciones sobre la aplicación de herramientas IA en el campo de la arquitectura en Panamá: aquí se incluyen enunciados y aseveraciones sobre el futuro y las consecuencias de la aplicación de herramientas IA para la industria de la arquitectura en el país.

El cuestionario se elaboró con la herramienta digital *Google Forms* que posibilita la generación de gráficos de barras y circulares. Se difundió a través de las redes sociales entre el 12 y el 23 de julio del 2024; y se divulgó un enlace directo al cuestionario en mensajes de texto, carteles, publicaciones e historias de *Instagram*, *WhatsApp* y *LinkedIn*, con una breve descripción del propósito del muestreo.

## 2.2 Aplicación de la herramienta IA generativa– Stable Diffusion orientada al desarrollo del concepto de un proyecto arquitectónico

Para evidenciar las ventajas de usar herramientas de Inteligencia artificial (IA) generativa en arquitectura, se usó un programa para desarrollar la materialidad (selección de los materiales) de un proyecto, luego de idear el concepto arquitectónico. Se entiende por concepto arquitectónico la o las ideas abstractas iniciales que encauzan y determinan un diseño arquitectónico y las características deseadas para el objeto arquitectónico tales como como: funcionalidad, plástica, estilo, mensaje, etc., y, en este caso materialidad [15].

Tradicionalmente el concepto arquitectónico se presenta con un boceto dibujado a mano alzada luego de definir objetivos, considerar normas, contexto urbano y cultural y explorar enfoques y soluciones diversas de acuerdo con las expectativas y deseos del cliente.

El nivel de detalle que se requiere desarrollar en un breve periodo de tiempo para lograr acuerdos con el cliente y otros profesionales involucrados, pueden resolverse

extraordinariamente bien aplicando una herramienta IA generadora de imágenes.

Tal como se explica en la tabla 1, existen diversas alternativas para generar imágenes, siendo algunas *Midjourney*, *DALL-E* y *Stable Diffusion*. Estas herramientas sirven para generar piezas gráficas de cualquier tipo utilizando algoritmos y ML para recrear todo tipo de ilustraciones, ya sean objetos, animales, paisajes, humanos, etc [16]. A continuación, se describen algunas de las funciones disponibles en generadores de imágenes a base de IA [16] [17]:

- **Txt-to-image:** Generación de imágenes mediante instrucciones textuales o *prompts*.
- **Image-to-image:** Generación de imágenes a partir de una imagen existente. Está también se puede detallar más con el uso de *prompts*.
- **Inpainting:** Edición de imágenes a partir de la regeneración parcial de ellas utilizando *prompts*.
- **Outpainting:** Expansión de los límites de una imagen existente al generar contenido adicional.
- **Upscaling:** Aumento del tamaño sin pérdida de detalles de una imagen existente.
- **ControlNet:** Extensión que permite definir la composición de una imagen generada a partir de una imagen de referencia. Este proceso es similar pero más preciso que el *image-to-image*.

La mayoría de las herramientas de IA generativa requieren de una instrucción (*prompt*) para generar una o varias imágenes a petición del usuario. La instrucción (*prompt*) debe incluir palabras clave que describan las cualidades deseadas en las imágenes que se generaran; a esto se le conoce como instrucción positiva (*positive prompt*). Además de la instrucción positiva (*positive prompt*) se le puede añadir una instrucción negativa (*negative prompt*) también con palabras clave que describen características que se desea excluir o evitar en las imágenes generadas [16].

La generación de imágenes se aplica en diversos campos, siendo los más comunes para la publicidad, el arte y la producción cinematográfica; puesto que permite la producción instantánea de recursos gráficos [18]. Un ejemplo de esto es en la campaña publicitaria de arte digital de BMW, en la que se generaron imágenes IA con base a 50 000 obras de arte para colocar diferentes patrones en un modelo digital del automóvil *8 Series Gran Coupé* [19].

En el caso de la visualización y representación arquitectónica, su introducción se ejemplifica en el aumento de calidad para lograr renderizaciones realistas de proyectos arquitectónicos y en la generación imágenes que representan magníficamente las ideas conceptuales de anteproyectos arquitectónicos [20].

La gran mayoría de estas herramientas son accesibles desde plataformas en la web que forman parte de una aplicación de terceros, como en el caso de *Midjourney*, que se utiliza dentro de la aplicación de comunicación *Discord* (para utilizar el editor de imágenes en su sitio web oficial, se requiere generar

10 imágenes en *Discord*), y *DALL-E* se accede desde *Chat-GPT* (ambos son productos de la empresa *OpenAI*). En el caso de *Stable Diffusion*, se puede acceder desde diferentes plataformas de interfaz de usuario gráficas o *GUIs* (Graphical User Interface) [16] [21] [22].

El ejercicio consistió en utilizar *Stable Diffusion* para desarrollar alternativas para la materialidad de un edificio de oficinas cuyo concepto arquitectónico incluye el uso de materiales y elementos constructivos como ladrillo, muros cortinas y concreto para comunicar cualidades sensibles como elegancia y firmeza.

La versión de *Stable Diffusion* utilizada fue a partir de la plataforma *GUI* denominada *Automatic1111*, disponible gratuitamente y se instala en un ordenador que debe tener ya instalados el programa *GitHub* y un instalador del código fuente para utilizar el lenguaje de programación *Python* que permita el funcionamiento de los algoritmos y códigos de la inteligencia artificial en el ordenador [23].

Se seleccionó *Stable Diffusion* por sus características de fácil acceso (ya que *Midjourney* y *DALL-E* necesitan suscripciones pagas para acceder a ellas) y por poseer todas las funciones generales de IA generativa de imágenes anteriormente descritas.

El proceso se desarrolla de la siguiente manera:

1. Se dibuja con lápiz y sobre un papel, un boceto a mano alzada del edificio. Este boceto será lineal (lo que significa que su nivel de detalle será simple).
2. Se toma una fotografía digital del boceto y se importa el archivo en formato PNG (se permiten otros formatos) a *Stable Diffusion* utilizando la función de *ControlNet*. El boceto de referencia se visualiza en la figura 1.
3. Se redacta la instrucción positiva (*positive prompt*) para definir la materialidad deseada para el boceto del edificio, mediante palabras clave como “muro cortina” y “ladrillos”, entre otras. Es de notar que utilizar instrucciones negativas no es obligatorio para la generación de imágenes en *Stable Diffusion* [16].
4. El programa genera cuatro imágenes diferentes que ilustran diferentes alternativas creadas con base en la fotografía del boceto.

**Figura 1.**

*Boceto lineal base para la generación de imagen IA*



La instrucción (*prompt*) debe redactarse en idioma inglés; la que se utilizó es así: “(architecture:1.4), (EXTERIOR shot:1.6), 8-stories contemporary office tower on a city, (masterpiece:1.4), (best quality:1.4), high quality, 8k, 16k, (detailed:1.3), hyper detail, intricate details, curtain walls, clear blue sky, red bricks, and concrete, add trees, photorealistic, cinematic lighting, centered, cinematic, epic, dramatic”. Se utilizan paréntesis y números decimales para determinar la influencia que las palabras clave tendrán sobre las imágenes finales [16].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados del muestreo de conveniencia

Ochenta y dos (82) personas contestaron el cuestionario. Sin embargo, algunos de ellos no respondieron la totalidad de las preguntas; particularmente las incluidas en la sección sobre el uso de herramientas IA en el diseño arquitectónico (sección dirigida exclusivamente a los usuarios de herramientas IA).

A continuación, se presentan únicamente los resultados de las preguntas más relevantes.

##### 3.1.1 Organización a la que pertenece

Los 82 participantes respondieron esta pregunta que indaga sobre el sector laboral: universidad, empresa privada, entidad pública, o independiente. Un 85.4% pertenecen a universidades, seguidos por un 9.8% de empresas privadas, un 1.2% a entidades públicas, y, el restante 3.7% son independientes.

##### 3.1.2 Experiencia en el sector de la Arquitectura

Los 82 participantes respondieron esta pregunta. Se evaluaron 5 categorías, como se muestra en la figura 2. De estos, 75.6% son estudiantes, 11% tienen de 10 a 30 años de experiencia, 4.9% son arquitectos con menos de 5 años de experiencia, 4.9% con más de 5 años de experiencia, y un 3.7% poseen más de 30 años de experiencia.

Se puede apreciar que la mayoría de los participantes son estudiantes universitarios (75.6%), no obstante, un porcentaje significativo son arquitectos con 5 años de experiencia en adelante.

**Figura 2.**

*Gráfico circular sobre el nivel de experiencia profesional de los participantes.*



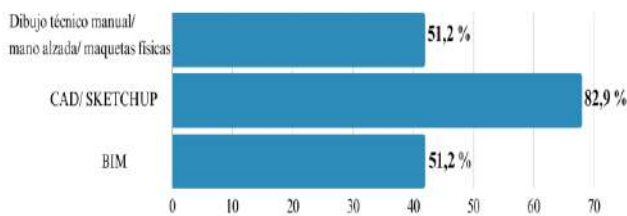
### 3.1.3 ¿Cuál de estas herramientas usa durante su proceso de diseño arquitectónico?

Esta pregunta fue respondida por los 82 participantes (el 100%) quienes tuvieron la oportunidad de señalar varias opciones simultaneas. Se incluyó: Dibujo Técnico Manual/Mano Alzada/Maqueta Física; CAD/SketchUp; y BIM (ver figura 3).

Los resultados mostraron que el 82.9% usan programas CAD y SketchUp; otro 51.2% (42 personas) usan dibujo técnico/mano alzada y maquetas físicas; y otro 51.2% (42 personas) usan BIM; lo que confirmó la idea de que la metodología BIM se halla en un proceso de introducción incompleto [1].

Figura 3.

Gráfico de barras sobre las herramientas que utilizan en sus procesos de diseño arquitectónico

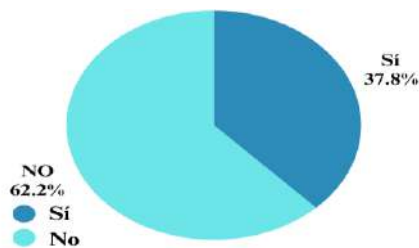


### 3.1.4 ¿Utiliza herramientas IA en su proceso de diseño?

Los 82 participantes respondieron esta pregunta. Se evaluó el porcentaje de los participantes que utilizan herramientas IA en su proceso de diseño (figura 4). La mayoría no utiliza herramientas IA, lo que representa un 62.2%, mientras que el 37.8% si las utiliza. Esto comprueba la hipótesis planteada.

Figura 4.

Gráfico circular sobre los participantes que utilizan o no herramientas IA.

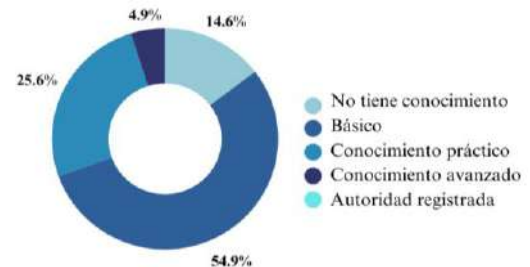


### 3.1.5 Conocimiento personal sobre herramientas IA

Los 82 participantes respondieron esta pregunta. Se evaluaron 5 categorías (figura 5). El 59.4% tiene conocimiento básico, 25.6% tiene conocimiento práctico, 14.6% no tiene conocimiento, 4.9% tiene conocimiento avanzado. Ningún participante afirma ser una autoridad registrada.

Figura 5.

Gráfico circular que muestra el nivel de conocimiento personal de los participantes sobre las herramientas IA.



### 3.1.6 Frecuencia de uso de herramientas IA en proyectos arquitectónicos

Los 82 participantes respondieron esta pregunta. Se evaluaron 5 categorías: en todos los proyectos, en la mayoría de los proyectos, para algunos proyectos, ocasionalmente, y nunca. El 37.8% las usa ocasionalmente, 35.4% nunca las usa, 19.5% para algunos proyectos, 6.1% mayoría de proyectos, y 1.2% en todos los proyectos. Este resultado también evidencia de la escasa implementación de herramientas IA en el área de la Arquitectura, por estudiantes y profesionales del área.

### 3.1.7 Herramientas IA que utiliza actualmente:

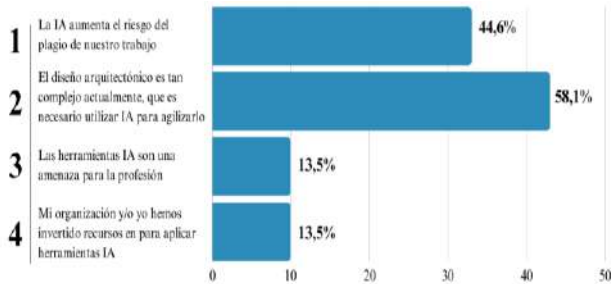
Solo 78 participantes respondieron esta pregunta. Se evaluaron 7 categorías: generación de texto, generación de imágenes/videos, generación de plantas arquitectónicas y documentación, plugins de IA generativa para programas BIM, ninguna y otras: El 57.7% usa generación de texto, 32.1% generación de imágenes, 25.6% no utiliza herramientas IA, 9% utiliza herramientas de generación de volumetría/modelado 3D, 2.6% utiliza generación de dibujos arquitectónicos y documentación, 2.6% usa plugins para programas BIM, y 6.4% utiliza otras.

### 3.1.8 Valoraciones sobre las herramientas IA aplicadas a la arquitectura:

Solo 74 participantes respondieron esta pregunta, los cuáles podían elegir varias respuestas. Se evaluaron 4 categorías (figura 6). Unos 43 participantes (58.1%) están de acuerdo en utilizar IA para agilizar el diseño arquitectónico, seguido de 33 participantes (44.6%) que cree que la IA aumenta el riesgo de plagio, otros 10 participantes (13.5%) creen que son una amenaza para la profesión de arquitectura, y otros 10 participantes (13.5%) aseguran que su organización y/o ellos han invertido recursos en aplicar herramientas IA en el trabajo.

**Figura 6.**

Gráfico de barras que muestra diversas perspectivas sobre el uso de la IA para la arquitectura en Panamá.



Aquí se evidencian opiniones contrapuestas sobre las posibles consecuencias de la implementación de la IA en la arquitectura. Una mayoría -un 58.1%- está de acuerdo en que los procesos del diseño arquitectónico se beneficiarán con el uso de estas herramientas. Otro porcentaje significativo (44.6%) opina que el plagio y la reproducción sin límites de su trabajo crecerá exponencialmente. Esto último indica que es prioritario aprobar leyes que lo eviten.

### 3.1.9 Discusión de los resultados del muestreo de conveniencia:

Aunque el cuestionario se distribuyó entre 82 participantes, la participación fue desigual: la gran mayoría fueron estudiantes (85.4% de respuestas) y una minoría profesionales de arquitectura en Panamá.

Esto presenta un obstáculo a la hora de analizar los datos adquiridos, sin embargo, esto es de esperar en el desarrollo de un muestreo no probabilístico por conveniencia, donde el control de la población a estudiar es limitado por su selección arbitraria [12].

A pesar de ello, podemos afirmar que es escaso el uso de herramientas IA para el diseño arquitectónico por estudiantes y profesionales de la arquitectura en Panamá.

Resaltamos que los resultados de algunas preguntas son similares al Reporte IA del *Royal Institute of British Architects*. Tal es el caso de la pregunta del conocimiento personal sobre herramientas IA, donde la mayor diferencia es que en el reporte del RIBA, el 2% de participantes eran una autoridad registrada, mientras que en este muestreo, 0%, o nadie, es una autoridad registrada.

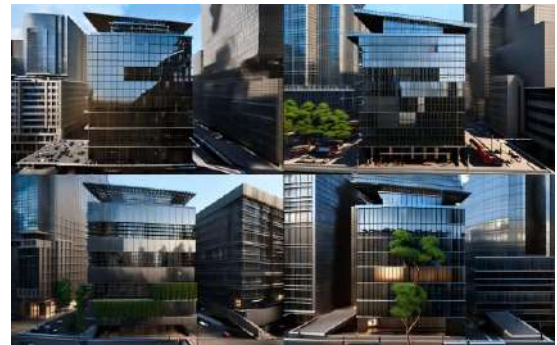
### 3.2 Resultados del desarrollo de la idea de materialidad del concepto arquitectónico mediante Stable Diffusion

Luego de escribir la instrucción (*prompt*) y subir la imagen del boceto base se generaron cuatro alternativas de materialidad para el concepto arquitectónico solicitado al programa. Las imágenes son bastante fieles a las instrucciones

provistas, pero es normal que, por no utilizar instrucciones negativas (*negative prompts*), ocurran errores como, por ejemplo, que la opción inferior derecha tenga arboles flotando. Esto se puede solucionar añadiendo instrucciones como “objetos deformados”, entre otras dependiendo de la situación [16]. (Ver figura 9).

**Figura 9.**

Distintas alternativas de materialidad generadas por el programa Stable Diffusion



La generación de imágenes únicamente requirió de 2 minutos y 45 segundos. El tiempo de generación de imágenes mediante *Stable Diffusion* puede variar dependiendo de los pasos que el usuario del programa desee. Si se quiere un resultado más veloz, este puede disminuirse incluso a apenas 30 segundos.

### 3.2.1 Discusión de los resultados de la aplicación de la herramienta IA generativa:

Se concluye que se obtuvo del programa un resultado con gran detalle en un tiempo reducido, si lo comparamos con la producción de imágenes a través de programas de renderizado 3D o habilidades artísticas manuales [20].

Tal como es descrito por el estudio de representación arquitectónica Design Piet, el renderizado 3D computarizado consume varias horas ya que se ajustan detalles de representación como luces, sombras y texturas que necesitan manipulación directa del usuario.

Con dibujo manual, el proceso es menos flexible y se precisan diversas herramientas físicas para definir estos detalles; además de que para modificarlas se requiere que la imagen se produzca desde su inicio cero en ciertos casos [20].

En contraste, la producción de cuatro imágenes diferentes a través de *Stable Diffusion* requirió muy poco tiempo y su capacidad para la modificación mediante funciones como el *inpainting* si el resultado no es el deseado lo hace una alternativa competitiva. Como ya fue explicado, podría producir errores al compararlo con el renderizado 3D; sin

embargo, su ventaja es que consigue gran detalle en un tiempo reducido.

Además, el programa *Stable Diffusion* genera una amplia diversidad de posibilidades para seleccionar materiales y elementos constructivos que cumplan mejor con los deseos y expectativas del diseñador arquitectónico.

#### 4. CONCLUSIONES

El impacto de la aplicación de herramientas de inteligencia artificial ha ganado relevancia debido a su comprobada eficacia para agilizar el proceso del diseño arquitectónico y en las demás fases del ciclo de vida útil de las edificaciones, siendo el mayor ejemplo Inglaterra, evidenciado por el reporte del RIBA [2], [14].

Los resultados de la investigación permiten afirmar que el conocimiento y el uso de herramientas IA para el proceso de diseño arquitectónico en Panamá es escaso. A pesar de que los participantes del muestreo reconocen la importancia de conocer y desarrollar habilidades para aplicar herramientas IA y colocarse así en la vanguardia de las disciplinas AIC; no han tomado acciones decisivas para hacerlo.

Por lo tanto, se genera la siguiente especulación: los estudiantes y profesionales de arquitectura en Panamá no han desarrollado estrategias para incluir de forma intensiva herramientas de inteligencia artificial (IA) en sus procesos de diseño arquitectónico; y apenas están en una etapa incipiente de integración de la metodología BIM [1].

Se recomienda realizar más estudios para conocer la forma en que estudiantes y profesionales de la Arquitectura en Panamá perciben las consecuencias de la existencia de las IA generativas en el diseño arquitectónico, y las razones de su implementación o no. Asimismo, se recomienda realizar estudios similares para evaluar el estado del arte en las áreas de Ingeniería y Construcción en el sector AIC, y regular el uso de la IA en todo este sector industrial.

A su vez, es evidente el beneficio de aplicar herramientas IA (como *Stable Diffusion*) para el proceso de diseño arquitectónico para generar imágenes de forma veloz y con múltiples alternativas.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Asociación estudiantil de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Panamá, *Conciencia Renovadora*, por su apoyo en la difusión del muestreo por conveniencia; así como a los participantes que lo circularon.

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores y el presente artículo declaran que no poseen conflicto de intereses.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R., Cuan, “Guía para la aplicación de la metodología BIM en el diseño y gestión de proyectos de construcción en Panamá”. Tesis de grado, Fac. de Arq. y Dis., Univ. de Panamá., Panamá, Panamá, 2023.
- [2] H.N. Rafsanjani, A.H. Nabizadeh, “Towards human-centered artificial intelligence (AI) in architecture, engineering, and construction (AEC) industry”. *Computers in Human Behavior Reports*, 2023, p. 100319. DOI. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100319>
- [3] F., Guerrero-Solé; C., Ballester. “El impacto de la Inteligencia Artificial Generativa en la disciplina de la comunicación”. *Hipertext.net*, 2023, n.º 26, pp. 1-9. DOI. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31009/hipertext.net.2023.i26.01>
- [4] J. Vargas y E. Cueva, “Uso de la inteligencia artificial en la arquitectura con el soporte de los softwares arquitectónicos”, *ResearchGate*, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, abril de 2024. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/379832318\\_Uso\\_de\\_la\\_inteligencia\\_artificial\\_en\\_la\\_Arquitectura\\_con\\_el\\_soporte\\_de\\_los\\_Softwares\\_Arquitectonicos\\_Use\\_of\\_artificial\\_intelligence\\_in\\_Architecture\\_and\\_the\\_benefits\\_of\\_Software\\_in\\_Architectural\\_design](https://www.researchgate.net/publication/379832318_Uso_de_la_inteligencia_artificial_en_la_Arquitectura_con_el_soporte_de_los_Softwares_Arquitectonicos_Use_of_artificial_intelligence_in_Architecture_and_the_benefits_of_Software_in_Architectural_design)
- [5] N. Morris y Royal Institute of British Architects, “Artificial Intelligence: how are architects using AI right now and what are they using it for?”, *RIBA Architecture.com*, 29 de febrero de 2024. [Online]. Available: <https://www.architecture.com/knowledge-and-resources/knowledge-landing-page/artificial-intelligence-in-architecture>
- [6] A. M., Soliman, “Appropriate teaching and learning strategies for the architectural design process in pedagogic design studios”. *Frontiers of Architectural Research*, 2017, 6(2), 204–217. DOI. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.03.002>
- [7] R.T., Coolidge, “The Architectural Process”. *Robert Coolidge.com*. 2013. [Online]. Available: <http://www.robertcoolidge.com/process-1.html>
- [8] BIM Forum Panamá, “El BIM será implementado en Panamá”. *BIMForumPanama.org*. 30 de noviembre de 2017. [Online]. Available: <https://www.bimforumpanama.org/event0/bim-sera-implementado-laconstruccion-panama/>
- [9] Asamblea Nacional. Trámite Legislativo 2023-2024. 6 de julio de 2023. Anteproyecto de Ley N°14. “*Que regula la inteligencia artificial en la república.*”. [Online]. Available: [https://alertas.directoriolegislativo.org/wp-content/uploads/2023/07/2023\\_A\\_014.pdf](https://alertas.directoriolegislativo.org/wp-content/uploads/2023/07/2023_A_014.pdf)
- [10] E. Mejías, “Inteligencia artificial aplicada a la arquitectura”, *Grupo Ideas Panamá*, 25 de junio de 2023. [Online]. Available: <https://www.grupoideaspanama.com/post/inteligencia-artificial-aplicada-a-la-arquitectura>
- [11] N. S. Tapia, “Inteligencia Artificial aplicada en la arquitectura y diseño”, 14 de abril de 2023. [Online]. Available: <https://info.usma.ac.pa/inteligencia-artificial-aplicada-en-la-arquitectura-y-diseno/>

- [12] O. H. González. “Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen”. *Rev Cubana Med Gen Integr.*, 2021, vol.37, n.3. [Online]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-21252021000300002&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002&lng=es&nrm=iso) . Epub 01-Sep-2021. ISSN 1561-3038
- [13] R. H. Sampieri, C. F. Collado, and P. B. Lucio, *Metodología de la investigación*, 6th ed. Spain: McGraw Hill España, 2014. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- [14] Royal Institute of British Architects, “RIBA 2024 AI Report”, 2024. [Online]. Available: <https://www.architecture.com/knowledge-and-resources/resources-landing-page/riba-ai-report-2024>
- [15] C. G., Buelvas, “La importancia del concepto y su argumentación en el diseño arquitectónico”, *Procesos Urbanos*, vol. 1, n.º 1, pp. 35-46, ene. 2014. DOI. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21892/2422085X.16>
- [16] Stable Diffusion Art, A., “Stable Diffusion prompt: a definitive guide”, *Stable Diffusion Art*, 4 de enero de 2024. [Online]. Available: <https://stable-diffusion-art.com/prompt-guide/>
- [17] R. Eloy, “How AI rendering is revolutionizing architecture design,” *Chaos*, 7 de noviembre 2024. [Online]. Available: <https://www.chaos.com/blog/how-ai-rendering-is-revolutionizing-architecture-design?srsltid=AfmBOora6g504MgT7ubyw0Hg1unFXFG530CRwVHLrLZ5t6QtVpeffEtw>
- [18] P. M., “10 ejemplos alucinantes de arte generado por IA,” *ClickUp*, 22 de agosto de 2024. [Online]. Available: <https://clickup.com/es-ES/blog/202822/ejemplos-de-arte-ai>
- [19] R. Agarwal, “21 Examples of AI in Marketing and Advertising,” *LinkedIn*, 27 de agosto de 2024. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/real-life-use-cases-generative-ai-marketing-rahul-agarwal-cwx5c/>
- [20] Design Piet Estudio, “La Evolución del Render Arquitectónico: De Dibujos Manuales a IA y Realidad Virtual,” *DP Renders*, 14 de agosto de 2024. [Online]. Available: <https://www.dprenders.com/l/evolucion-render-arquitectonico-historia-tecnologia/>
- [21] C. McKay, “Midjourney launches new web editor, improving workflow for creators,” *Maginative*, 16 de agosto de 2024. [Online]. Available: <https://www.maginative.com/article/midjourney-launches-new-web-editor-improving-workflow-for-creators/>
- [22] OpenAI, “DALL·E 3 is now available in ChatGPT Plus and Enterprise,” *OpenAI*, 19 de octubre de 2023. [Online]. Available: <https://openai.com/index/dall-e-3-is-now-available-in-chatgpt-plus-and-enterprise/>
- [23] S. Kamph, “How to Install Stable Diffusion - automatic1111,” *YouTube*. 28 de mayo de 2023. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=kqXpAKVQDNU>

# Árboles de la cresta: caracterización y beneficios ambientales

## Ridge trees: characterization and environmental benefits

Carlos Maestre <sup>1</sup>; Jorge Isaac Perén Montero <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

<sup>2</sup> Universidad de Panamá, Facultad de Arquitectura y Diseño, Panamá.

<sup>1</sup> [Maestrec35@gmail.com](mailto:Maestrec35@gmail.com); <sup>2,3b</sup> [jorge.peren@up.ac.pa](mailto:jorge.peren@up.ac.pa)

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0006-5069-0048>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4762-9255>

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 20 de enero de 2025.

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6856>



**RESUMEN:** Mediante esta investigación se realizó la caracterización arbórea y la valoración de sus ventajas ambientales del barrio La Cresta, en el corregimiento de Bella Vista, de la ciudad de Panamá. Los criterios evaluados para la caracterización comprenden el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura media, el área basal y foliar, además de la cobertura boscosa para los beneficios ambientales se evaluaron, la mitigación del cambio climático, las sombras y la calidad del aire. Los hallazgos indican que los árboles de la cresta proporcionan una variedad de servicios ecosistémicos, tales como la captura de 1139.07 toneladas de carbono, la optimización de la calidad del aire mediante el filtrado de 205.8 g/día de PM2.5 y la regulación térmica mediante 20,580.6 metros cuadrados de sombra. Pese al actual 4.06% de cobertura boscosa, se subraya la necesidad de incrementar esta proporción para optimizar los beneficios ecológicos y sociales, fomentando la sostenibilidad en contextos urbanos.

**PALABRAS CLAVE:** arborización urbana, captura de carbono, calidad del aire, regulación térmica, servicios ecosistémicos, sostenibilidad ambiental.

**ABSTRACT:** This research focused on the tree characterization and the assessment of their environmental benefits in the La Cresta neighborhood, situated in the township of Bella Vista, Panama City. The criteria evaluated for the characterization included the diameter at breast height, average height, basal and foliage area, as well as tree cover. For the environmental benefits, the evaluation included climate change mitigation, shade, and air quality. The findings indicate that the trees on the ridge provide a variety of ecosystem services, such as capturing 1139.07 tons of carbon, improving air quality by filtering 205.8 g/day of PM2.5, and regulating temperature through 20,580.6 square meters of shade. Despite the current 4.06% forest cover, the need to increase this proportion is emphasized to optimize ecological and social benefits, promoting sustainability in urban contexts.

**KEYWORDS:** air quality, carbon capture, ecosystem services, environmental sustainability, thermal regulation, urban arborization.

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los árboles en áreas urbanas, también conocida como la “Silvicultura Urbana”, es una rama de estudio de la silvicultura que busca mejorar la calidad de vida de los habitantes en áreas urbanas y fortalecer sus entornos a través de la planificación y el cuidado responsable de los recursos arbóreos disponibles en dichas zonas[1]. Este enfoque busca maximizar los impactos positivos que la presencia de los

árboles tiene en estos contextos; tales como contribuir a la mitigación el cambio climático, mejorar la calidad del aire urbano y generan espacios verdes accesibles para toda la población que sean estéticamente placenteros[1], [2].

El bosque urbano de la ciudad de Nueva York está compuesto por aproximadamente 7 millones de árboles que cubren el 21% del área de dicha ciudad. Este sistema arbóreo les brinda a los ciudadanos de Nueva York beneficios

significativos como: la absorción de 1.2 millones de toneladas de carbono, la eliminación de 1.100 toneladas de contaminantes atmosféricos al año y la reducción del escurrimiento del agua[3].

Colombia ha logrado avances significativos en la silvicultura urbana, en Bogotá según su último censo arbóreo cuenta con 1,160,526 árboles, lo que equivale al 5.3% de cobertura arbórea en el área urbana[4].

En las últimas décadas en China se han producido avances notables en el campo de la silvicultura urbana; este avance se ha destacado especialmente en grandes ciudades como Beijing, donde su cobertura arbórea aumentó a un 19.38 %, con un incremento del 7.69 % entre el 2010 y 2019. Entre los beneficios obtenidos del aumento de la cobertura arbórea se encuentran: El embellecimiento de las ciudades, la reducción del calor urbano, la descontaminación del aire, promueven el bienestar físico y mental de los habitantes locales. Todo esto resalta el impacto positivo de implementar políticas de reverdecimiento en áreas urbanas extensas[5].

Para la literatura local acerca de la silvicultura urbana se tiene un informe de investigación publicado en FOBUR [6], La Ciudad de Panamá consta con un 21% de cobertura arbórea en toda su zona urbana. Sin embargo, el informe alerta sobre el impacto negativo de los procesos de densificación urbana que no son sostenibles ni verdes. En este contexto se resalta la importancia de implementar políticas sostenibles de gestión y planificación que prioricen la preservación y expansión del arbolado urbano, asegurando su contribución continua a la calidad de vida en la ciudad[6].

[7]llevo a cabo una investigación en los bosques urbanos de Margarita, Espinar y Davis de la provincia de Colón en Panamá donde se evaluó la diversidad y condición de los árboles presentes en el área. Se enfatiza el cuidado de los árboles aledaños a las zonas urbanas ya que el mal manejo de estos bosques ha creado riegos tanto para los árboles como para la comunidad que los rodea. Se identificaron 229 individuos con un alto valor de uso en riesgo[7].

Para el área local de bella vista, se realizó un plan de arborización por parte de la alcaldía de Panamá [8], en conjunto con estudiantes de ingeniería forestal de la Universidad de Panamá, donde se levantó un inventario arbóreo en 7 corregimientos de la ciudad de Panamá, incluyendo Bella vista, donde se encuentra el sector de La Cresta[8].

El propósito de esta investigación es examinar la arborización del barrio de La Cresta ubicado en el corregimiento de Bella Vista, Distrito de Panamá a través de una caracterización arbórea y una cuantificación de los beneficios ambientales que estos árboles proporcionan al contexto urbano.

## 2. CARACTERIZACIÓN ARBÓREA

La caracterización arbórea en silvicultura urbana es un proceso esencial para evaluar las características físicas, biológicas y funcionales de los árboles en un entorno urbano. Este procedimiento incluye la identificación de especies, el análisis de su estructura y la evaluación de su impacto ambiental en el área[9].

Aspectos clave que se consideran en una caracterización arbórea, de acuerdo con [9]:

- Identificación de Especies: Nombre científico y común, origen (nativo o exótico).
- Variables Estructurales: Altura del árbol, diámetro a la altura del pecho (DAP) y cobertura del dosel
- Relación con el Entorno: Ubicación geográfica y función social o cultural.

## 3. BENEFICIOS AMBIENTALES

Los árboles en entornos urbanos proporcionan una gran variedad de ventajas medioambientales que resultan fundamentales para el bienestar de las ciudades y sus residentes[1], [2], [10]:

1. **Protegen los suelos:** los árboles y las plantas ayudan a prevenir la erosión al evitar que el agua arrastre la tierra fértil en exceso cuando llueve. En zonas sin vegetación que actúan como barrera natural contra el impacto directo del agua pluvial en el suelo se observa un aumento en los procesos erosivos y la pérdida progresiva de calidad del terreno.
2. **Mitigación del Cambio Climático:** Los árboles absorben dióxido de carbono y lo retienen en sus diferentes partes como hojas o ramas en forma de carbono para ayudar a disminuir los gases de efecto invernadero.
3. **Barreras naturales:** Los árboles ayudan a frenar la fuerza de los vientos intensos y a proteger tanto zonas urbanas como rurales de eventuales daños
4. **Provisión de Productos:** De los árboles se obtienen frutos, aceites, extractos, celulosa, madera y otros productos utilizados en industrias farmacéuticas, perfumeras, alimentarias y de construcción.
5. **Conservación de la biodiversidad:** Los árboles son el hogar y el refugio de una diversidad de seres vivos como insectos, aves, mamíferos y plantas; desempeñan un papel crucial en mantener la armonía de los ecosistemas.
6. **La regulación del clima:** en entornos urbanos se ve favorecido por la presencia de árboles que colaboran en la dispersión del calor mediante la transpiración y ofrecen sombra; factores que contribuyen significativamente al equilibrio térmico de las áreas

urbanas Gestión Hidrológica Urbana: En las ciudades, los árboles retienen agua durante lluvias intensas, reduciendo la escorrentía superficial y disminuyendo el riesgo de inundaciones.

- 7. **Mejora de la Calidad del Aire:** Los árboles filtran contaminantes atmosféricos, mejorando la calidad del aire. Mediante el área foliar es capaz de descontaminar las partículas finas como la PM<sub>2.5</sub>.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Área de estudio

El área delimitada de La Cresta con ArcGis nos da un área aproximada de 506,610.08m<sup>2</sup>. Ubicada en el corregimiento de Bella Vista, Distrito de Panamá.

Figura 1.

Delimitación del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia utilizando SIG.



Figura 2.

Arborización del Área delimitada. Fuente: Elaboración propia utilizando SIG y datos del Plan de Arborización De la Alcaldía de Panamá.



### 4.2. Caracterización Arbórea

Para la caracterización arbórea se utilizó el inventario arbóreo del Plan de Arborización de la Alcaldía de Panamá[8].

#### 4.2.1. Diámetro a la altura del pecho promedio

El diámetro a la altura del pecho (DAP), es una medida tradicional que se utiliza para calcular el tamaño de los árboles, y se calcula a 1,30 metros de altura desde el suelo[11].

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

D<sub>a</sub> : Diámetro promedio.

D<sub>i</sub>: Diámetro de cada árbol.

n: Número total de árboles medidos.

#### 4.2.2. Altura promedio

$$H_a = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n} \quad (2)$$

Donde[11]:

H<sub>x</sub> : Altura promedio.

H<sub>i</sub> Altura de cada árbol.

n: Número total de árboles medidos.

$$\text{Biomasa} = a \cdot D^b \quad (6)$$

#### 4.2.3. Área Basal

El **área basal (BA)** es la medida de la sección transversal de un árbol. Es un factor clave en el campo forestal ya que facilita la estimación de la densidad y el volumen de los árboles en una zona boscosa o parcela específica. Esta medida nos permite conocer la superficie que cubren los troncos de los árboles en las zonas urbanas[11].

$$BA = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3)$$

BA: Área basal del árbol (m<sup>2</sup>).

D: Diámetro a la altura del pecho (m).

#### 4.2.4. Área Foliar

El **área foliar** es un aspecto fundamental en la silvicultura urbana que se refiere al área total cubierta por las hojas de un árbol o de una comunidad arbórea en particular. Es un elemento crucial para medir la fotosíntesis, el intercambio gaseoso, la transpiración y la productividad de los árboles en los entornos naturales[1].

$$A_f = \pi \cdot r^2 \quad (4)$$

Donde:

A<sub>f</sub> = Área foliar

r<sup>2</sup> = Radio de la copa del árbol

#### 4.2.5. Cobertura boscosa

Para el porcentaje de cobertura boscosa en toda el área de la cresta se utilizó la superficie foliar de los árboles y se hizo la relación con la extensión del área delimitada[11].

$$CB = \frac{\text{Área Foliar (AF, en m}^2\text{)}}{\text{Extensión Urbana (EU, en m}^2\text{)}} \quad (5)$$

#### 4.3. Beneficios Ambientales

Los beneficios ambientales que se pudieron calcular a partir del inventario arbóreo son: la mitigación del cambio climático en términos de captura del carbono y almacenado en los árboles, las sombras que proveen las sombras disminuyendo la temperatura en esas áreas y la mejora de calidad de aire mediante el área foliar de los árboles en términos de la deposición de los contaminantes PM<sub>2.5</sub>[1].

##### 4.3.1. Captura del Carbono

Para el cálculo de la captura de carbono se utilizan ecuaciones alométricas, para la estimación de la biomasa[10].

Donde:

**a**: Constante específica de la especie.

**D**: Diámetro a la altura del pecho (DAP) en metros.

**b**: Exponente que describe la relación entre el diámetro y la biomasa.

Una vez que se estima la biomasa, se puede calcular el **carbono** almacenado en el árbol. Generalmente, se considera que el carbono constituye el **50%** de la biomasa.

$$\text{Carbono} = 0.5 \cdot \text{Biomasa}$$

#### 4.3.2. Sombras

Las sombras son estimadas con el área foliar.

#### 4.3.3. Mejora de la calidad del aire

Para la mejora de la calidad del aire, se calcula mediante la formula[1]:

$$DPM_{2.5} = AF \times D \quad (7)$$

Donde:

DPM<sub>2.5</sub> = Descontaminación del PM<sub>2.5</sub> (g/día)

AF = Área foliar del árbol (m<sup>2</sup>)

D = Tasa de deposición del contaminante (g/m<sup>2</sup>/día)

#### 4.4. Comparaciones de Coberturas Boscosas

Se realizó una comparación de las coberturas boscosas de grandes ciudades con respecto a La Cresta.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Caracterización Arbórea

Variable	Valor
Diámetro promedio	44.9 cm
Altura promedio	9.2 m
Área Basal	54.9 m <sup>2</sup>
Área Foliar	20580.6 m <sup>2</sup>
Cobertura boscosa	4.06%

Tabla 1. Variables y valores de la caracterización arbórea.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2. Beneficios Ambientales

#### 5.2.1. Captura del Carbono

El almacenamiento de carbono en los árboles de la cresta se estima en **1139.07tn**, si existiera un mercado de carbono en Panamá, se puede hacer la valoración económica de este carbono capturado a una razón de 10\$/tn el cual es equivalente a **11390.70\$ dólares americanos**.

### 5.2.2. Sombras

El área foliar estimada equivale a **20,580.6 m<sup>2</sup>** eso significa que en esa superficie dentro de la cresta provee sombra y por consiguiente una rebaja de temperatura en esa área.

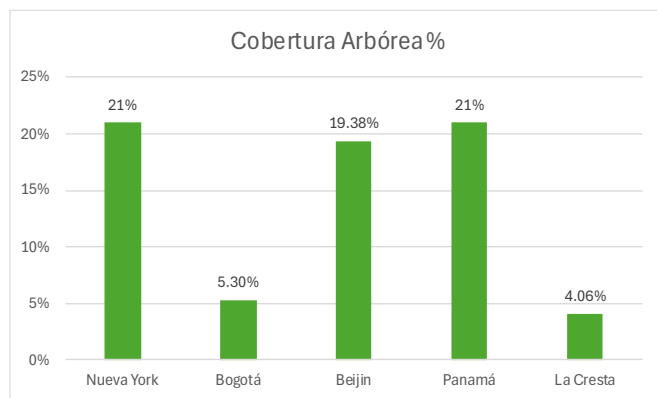
### 5.2.3. Mejora de la calidad del aire

Los árboles de la cresta mediante su copa y sus procesos fotosintéticos filtran **205.8 g/día** de PM2.5.

## 5.3. Comparaciones de Coberturas boscosas.

**Figura 3.**

*Comparación de coberturas arbóreas con distintas ciudades*



## 6.DISCUSIONES

Esta investigación describe característicamente la arborización de La Cresta y crea una base para diseños urbanos más sostenibles, con los datos obtenidos se pueden tomar mejores decisiones acerca de la arborización urbana en estos corregimientos, al saber su crecimiento morfológico. Al tener estos registros se pueden evidenciar las contribuciones significativas de estos árboles en términos de captura de carbono, regulación térmica y mejora de la calidad del aire.

Independientemente de los resultados obtenidos, todos los beneficios obtenidos son de gran valor si los comparamos con zonas urbanas que no tienen arborización alguna, esto resalta la importancia de la integración arbórea en espacios urbanos. No obstante, para maximizar estos beneficios, se requiere una planificación estratégica interdisciplinaria la cual, aumente la densidad arbórea y promueva una gestión sostenible del recurso arbóreo. Para esto, se puede enfatizar en la valorización económica de los servicios ecosistémicos, como el carbono almacenado, para incentivar políticas de conservación y expansión de áreas verdes urbanas.

Al comparar las coberturas arbóreas con otras ciudades observamos que la ciudad de Panamá se encuentra a la par con ciudades como Nueva York y por encima de ciudades como Bogotá. El estudio realizado por [6] no se consideraron las reservas forestales como el parque soberanía y el parque metropolitano para el cálculo de la cobertura arbórea, si se incluyeran la cobertura arbórea de la ciudad de Panamá sería mucho mayor, pero, este resultado es más certero cuando se analiza la cobertura arbórea en zonas urbanas. Hay que considerar también la metodología empleada por [6] se basó en utilizar imágenes satelitales con Sistemas de Información Geográficos (SIG) y realizar una clasificación del uso del suelo. Uno de los problemas de esta metodología es que, la clasificación del uso del suelo considera todo lo verde como área boscosa, aquí se pueden incluir gramas, pastos y pajas, hasta jardines y canchas sintéticas. Adicionalmente es muy complicado medir profundidades pequeñas con los SIG, así que identificar un árbol es muy impreciso. Sin embargo, esta es una metodología aceptada en la literatura. Una metodología más precisa y certera sería con tecnología LiDAR, que son drones con láseres muy precisos capaces de medir profundidades y describir la morfología de un árbol. También la metodología empleada en esta investigación es precisa, utilizando el área de las copas medidas.

## 7.CONCLUSIONES

Este registro de los árboles revela que aquellos situados en La Cresta presentan un diámetro promedio a la altura del pecho de 44.9 cm y una altura promedio de 9.2m, lo cual sugiere un desarrollo saludable en este entorno urbano específico. Se cuantifico que la cresta tiene:

- Tiene 219 árboles (New York en un área 2415 veces mayor tiene 7 millones). Estas dimensiones dan lugar a una significativa área foliar total de 20580.60m<sup>2</sup> y contribuyen a una cobertura arbórea del 4.06% a pesar de representar un porcentaje relativamente modesto en términos absolutos; este indicador resulta fundamental para los servicios que brinda a el ecosistema urbano.
- Los árboles de la cresta capturan 1139 de toneladas de CO<sub>2</sub>; y absorben 205.8 g/día cantidad de PM2.5

En cuanto a los beneficios para el medio ambiente, el almacenamiento estimado de 1139 toneladas de carbono resalta la importancia crucial de estos árboles en la lucha contra el cambio climático. Además, la amplitud de las hojas contribuye al alivio del calor al proporcionar sombra en áreas significativas, mejorando las condiciones microclimáticas locales.

La capacidad para purificar el aire, capturando 205 gramos al día de partículas PM<sub>2.5</sub>, subraya la importancia crucial de la vegetación urbana en promover entornos más saludables. Sin embargo, los hallazgos también indican la importancia de incrementar el número de árboles en la región superior, ya que

el porcentaje actual limita el potencial impacto de los posibles beneficios ecológicos.

Una mayor inversión en programas de reforestación podría potenciar los servicios ofrecidos por el ecosistema y reforzar la capacidad de adaptación al cambio climático en la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. J. Nowak y J. F. Dwyer, “Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems”, en *Urban and Community Forestry in the Northeast*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2007, pp. 25–46. doi: 10.1007/978-1-4020-4289-8\_2.
- [2] D. J. Nowak, S. Hirabayashi, A. Bodine, y E. Greenfield, “Tree and forest effects on air quality and human health in the United States”, *Environmental Pollution*, vol. 193, pp. 119–129, oct. 2014, doi: 10.1016/j.envpol.2014.05.028.
- [3] D. J. Nowak *et al.*, “The Urban Forest of New York City”, 2018. doi: 10.2737/NRS-RB-117.
- [4] G. Tovar-Corzo, “Aproximación a la silvicultura urbana en Colombia”, *Revista Bitácora Urbano Territorial*, vol. 22, núm. 1, pp. 119–136, 2013, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74829048012>
- [5] X. Zhang *et al.*, “Mega-cities dominate China’s urban greening”, jun. 2023, doi: 10.21203/rs.3.rs-3121244/v1.
- [6] N. A. Espino, B. Leung, C. Steeves, y S. Varadarajan, “La cobertura de árboles de la Ciudad de Panamá: Cuantificación, comparaciones internacionales y perspectivas.”, *Foro y Observatorio Urbano de Panamá (FOBUR)*, ago. 2021.
- [7] A. V. Zuñiga, F. Farnum Castro, y V. Murillo Godoy, “Comparación Del Estrato Arbóreo En Fragmentos De Bosques Urbanos De Margarita, Espinar Y Davis, Provincia De Colón, República De Panamá”, *Scientia*, vol. 31, núm. 1, pp. 17–37, ene. 2021, doi: 10.48204/j.scientia.v31n1a2.
- [8] Alcaldía de Panamá, Dirección de Gestión Ambiental, y Universidad de Panamá, “Plan de Arborización”, <https://geomupa.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=0049146d3e904d209b5f7dc9c3f49ea3>.
- [9] D. A. Pucha-Cofrep *et al.*, “Caracterización florística y estructura del arbolado urbano de la ciudad de Loja”, *Bosques Latitud Cero*, vol. 13, núm. 2, pp. 1–22, jul. 2023, doi: 10.54753/blc.v13i2.1886.
- [10] D. J. Nowak y D. E. Crane, “Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA”, *Environmental Pollution*, vol. 116, núm. 3, pp. 381–389, mar. 2002, doi: 10.1016/S0269-7491(01)00214-7.
- [11] P. W. West, *Tree and Forest Measurement*. Cham: Springer International Publishing, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-14708-6.

# Criterios para la selección de un terreno para un centro de investigación en el Parque Nacional Santa Fe

## Criteria for selecting land for a research center in the Santa Fe National Park

*Rómulo Antonio Jordán Donoso<sup>1</sup>, Jorge Isaac Perén Montero<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Universidad de Panamá, Facultad de Arquitectura y Diseño, Panamá.

<sup>2</sup> Universidad de Panamá, Facultad de Arquitectura y Diseño, Panamá

<sup>1</sup> [romulo.jordan@up.ac.pa](mailto:romulo.jordan@up.ac.pa), <sup>2</sup> [jorge.peren@up.ac.pa](mailto:jorge.peren@up.ac.pa)

<sup>1a</sup>0009-0004-1085-2829, <sup>1b</sup>0000-0003-4762-925

Fecha de recepción: 04 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 10 de enero de 2025

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6857>



**RESUMEN:** El objetivo de esta investigación es proporcionar una herramienta para la toma de decisión de selección de terreno, por medio de unos criterios de selección de terreno y evaluación de terreno, en este caso de estudio para un centro de investigación dentro de un parque nacional. Los criterios de selección están conformados por características que puedan beneficiar al buen funcionamiento del centro como estar próximo a zona de avistamiento de especies y dentro de una zona de uso público o manejo especial. También se evaluarán los terrenos seleccionados con parámetros como accesibilidad, conectividad, vitalidad urbana, alcance de huella por comunidades cercanas y biodiversidad. En este estudio se seleccionaron 3 terrenos dentro del Parque Nacional Santa Fe, de los cuales el terreno ubicado en las faldas del Cerro Tute. Obtuvo una puntuación de 7.4/10 y bajo los criterios se encuentra como “eficiente” para el desarrollo del proyecto.

**PALABRAS CLAVE:** análisis de ubicación, directrices de ubicación, localización estratégica, centro de investigación, centro de rehabilitación de vida silvestre, selección de terreno.

**ABSTRACT:** The objective of this research is to provide a decision-making tool for site selection through specific land selection and evaluation criteria. This study focuses on a research center within a national park. The selection criteria include characteristics that enhance the efficient operation of the center, such as proximity to wildlife observation areas and location within a public use or special management zone. Additionally, the selected sites are evaluated based on parameters such as accessibility, connectivity, urban vitality, footprint impact on nearby communities, and biodiversity. In this study, three sites within Santa Fe National Park were selected, including one located on the slopes of Cerro Tute. This site scored 7.4/10 and, according to the criteria evaluated, is classified as "efficient" for the development of the project.

**KEYWORDS:** land selection, location analysis, location guidelines, research center, wildlife rehabilitation center, strategic location.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe un grave problema con la degradación del entorno y la desaparición de ecosistemas, que representan una amenaza frente a las riquezas naturales y la biodiversidad. Estos recursos están siendo afectados debido a las actividades

humanas como cambios en el uso del suelo, expansión de cultivos, deforestación, tala ilegal de árboles, prácticas ganaderas inadecuadas, cacería de especies y contaminación de fuentes de agua como ríos y quebradas [1]. Un factor determinante es la deforestación que ha sido un problema

constante en todo Panamá, la cubierta forestal disminuyó significativamente para el año 1970 a un 53% de la superficie. Para el año 2014 la cobertura se redujo a un 39,8% [2]. Para el año 2021 la cobertura boscosa aumentó con creces a un 44,9% de superficie en el territorio [3].

La deforestación tiene un impacto directo con los ecosistemas y la fauna. Ya que son el hogar de muchas especies lo que es devastador y consigo la extinción de algunas de ellas. También están afectando a los servicios ecosistémicos claves que son la regulación del clima y el abastecimiento de agua [4]. Estas consecuencias serán trágicas en especial las zonas tropicales afectando su biodiversidad [5]

El istmo de Panamá posee una abundante biodiversidad extendida sobre todo el territorio, lo cual lo comprenden 16 parques nacionales y más de 100 áreas protegidas (Ver Figura 1) [6]. Que cuidan y salvaguardan nuestra flora y fauna. Organizaciones internacionales han establecido índices para determinar la cantidad de superficie que debe protegerse dentro de un país. Uno es el objetivo de Aichi, definido por la Convención sobre la Diversidad Biológica en 2010, establece que al menos el 17% de la superficie terrestre y el 10% de las áreas marinas y costeras deben estar protegidas para el año 2020 [7]. Panamá alberga un 33% de la superficie terrestre y 30.5% de la superficie marina protegidas por ley [6].



Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de todos los Parques Nacionales de Panamá. Modificado de [21].

Los Parques Nacionales a diferencia de las áreas protegidas, ofrecen recreación y promueven la educación ambiental sobre la biodiversidad a los visitantes, al tiempo que ayudan a la conservación de la naturaleza y los ecosistemas [8]. Pero esto causa un problema, ya que mayor afluencia de turistas, la conservación de la naturaleza puede presentar problemas. Sin embargo, los ingresos relacionados ayudan al financiamiento de la conservación de la naturaleza en los parques nacionales, así pues, el desarrollo y la conservación presentan una relación simbiótica [9].

Panamá se encuentra dentro de los países más biodiversos del mundo, calculando el 4.9% de la biodiversidad del mundo entero. Su posición privilegiada geográficamente ha permitido que la riqueza biológica abastente: 259 especies de mamíferos; 970 de aves; 240 especies de reptiles y 190 de anfibios [10].

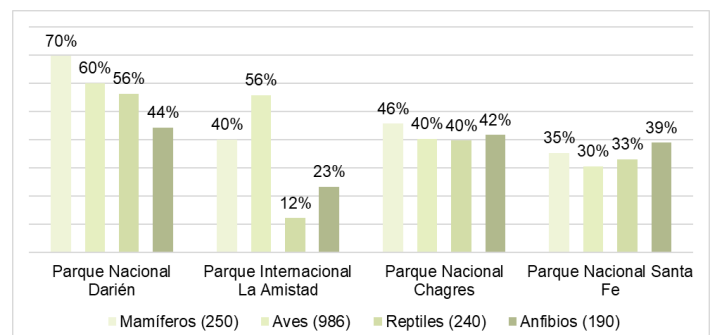


Figura 2. Porcentaje que representa cada especie para la fauna panameña en los 4 parques con más especies.

Sin embargo, los esfuerzos para disminuir la deforestación y la tala ilegal aun presentan grandes desafíos, ya que en el

2021 la provincia de Veraguas perdió 48, 758 hectáreas de bosque [11]. Otro de los factores que afectan es el avance de la frontera agrícola, lo que puede generar suelos degradados, erosión y pérdida de fertilidad de los suelos [2]. Lo cual afecta de manera directa con la biodiversidad, afectando el hábitat de muchas especies.

En este caso de estudio, en el Parque Nacional Santa Fe, no existe un centro de investigación científica, el cual ayudaría a la conservación de parque, ya que la presencia de desechos sólidos inorgánicos como plásticos, la tala ilegal, el avance de cultivos, ganadería y extracción de tierra están ocasionando un colapso significativo en la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas [12]. Al igual que este permitiría recopilar información de las especies que habitan el parque, evaluar sus condiciones y amenazas, así como su rehabilitación. Mas allá de ser un centro de investigación también podría contribuir en rehabilitación de especies y un lugar para la educación ambiental.

La creación de Centro de investigación científica dentro del parque podría ayudar a la conservación de este ya que es una institución la cual puede ser pública o privada que se dedica a realizar estudios e investigaciones científicas de diversos campos. Este alberga a científicos, investigadores y expertos colaboren para un mismo fin [13]. El objetivo principal de la investigación ambiental es el desarrollo de estrategias, técnicas y métodos que ayuden a la gestión, manejo y planificación del uso de los recursos naturales de manera sustentable [14].

Los centros de rehabilitación de vida silvestre (WRC, por sus siglas en inglés) son centros esenciales para la conservación de los animales silvestres, ya que brindan atención, realizan investigaciones, crean iniciativas educativas y contribuyen activamente a la preservación de las poblaciones de animales en la naturaleza, así como políticas relacionadas a la conservación [15]. Cabe resaltar que estos centros son temporales para el cuidado de animales heridos, enfermos o desplazados, seguido de su liberación en un hábitat natural. Es fundamental la evaluación de que especies pueden representar un riesgo, como especies portadoras de enfermedades o animales físicamente peligrosos [16].

Se realizó una búsqueda de literatura referente a los criterios que ayuden a la selección de terreno para un centro de investigación, pero no se encontraron artículos de este. Sin embargo, se encontró una metodología y criterios para la selección de un mercado público [17] y un artículo sobre selección de terreno de recreación invernal y sus implicaciones en la vida silvestre [18]. Por tanto, se tomarán estos criterios como base para el análisis para la selección de un terreno para un centro de investigación.

Se tienen como objetivos de esta investigación identificar los potenciales atractivos que se encuentran en el Parque Nacional Santa Fe, así como identificar opciones de terreno

para la implementación de un edificio que cumpla con un programa que ayude a la preservación de la biodiversidad del parque.

## 2. Parque Nacional Santa Fe

Veraguas es una de las provincias más extensas de Panamá, caracterizada por su alta diversidad de especies biológicas. Cuenta con tres Parques Nacionales, entre las cuales el Parque Nacional Santa Fe destaca como uno de los más importantes en términos de biodiversidad. Por su importancia ecológica se crea el Parque Nacional Santa Fe (PNSF) creado mediante Decreto Ejecutivo No 147 del 11 de diciembre de 2001. Cuenta con alrededor de 72,636 hectáreas [19].

Ocupa la parte alta de la cuenca del río Santa María y toda la zona montañosa de la parte norte de la provincia (distrito de Santa Fe y Calobre) y se extiende desde el límite con la Comarca Ngäbe-Buglé hasta el límite con las provincias de Colón y Coclé. (Ver Figura 3)



**Figura 3.** Localización del Parque Nacional Santa Fe. Modificado de [21].

### 2.1. Flora

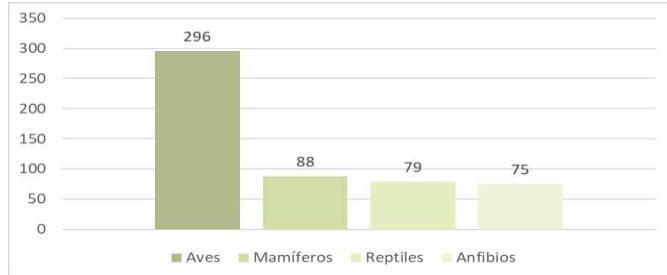
El PNSF ha sido poco estudiada, debido a factores como el difícil acceso y a las pocas facilidades con las que se cuenta el parque. Aunado a ello, la diversidad de especies, el poco grado de intervención humana y el buen grado de conservación de sus bosques, pueden ser la causa por las cuales las investigaciones que se realizan en el área se caracterizan por contar con nuevos reportes para el país, así como un alto grado de endemismo [20].

Según los listados obtenidos de tesis, listados del Herbario de la Universidad de Panamá y la Evaluación Ecológica Rápida, realizada para el PNSF; se han reportado 575 especies de plantas para el PNSF. De estas 575, 81 son endémicas de Panamá [1].

### 2.2. Fauna

En estudios realizados por la Asociación Nacional para la conservación de la naturaleza (ANCON) han registrado 117 especies de mamíferos que habitan en la provincia de Veraguas, de este total (117), el área de estudio del Parque Nacional Santa Fe cuenta con 88 especies de mamíferos que habitan en él. En trabajos de campo realizados se encontraron

41 especies de mamíferos que representan aproximadamente el 12.3% del total para la provincia y el 46.6% para el área de estudio, esto refleja una gran diversidad de mamíferos [1]. Entre otras especies reportadas como aves, reptiles y anfibios (Ver Figura 4), presenta animales endémicos, como animales en estado crítico por su grado de peligro de extinción.



**Figura 4.** Especies encontradas en el Parque Nacional Santa Fe. Datos de [1].

### 2.3. Zonificación del Parque

La zonificación del Parque refleja su principal objetivo de conservación: el ecosistema boscoso (Ver Figura 5). A pesar de los problemas identificados, estos bosques aún siguen en buen estado de conservación, lo que permite que el 90% de la superficie del parque esté bajo preservación absoluta, donde se encuentran altos niveles de endemismo de flora y fauna. Menos del 10% del territorio se destina a manejo de recursos como son áreas ideales para actividades recreativas, turísticas, educativas y de interpretación ambiental, así como tierras usadas para agricultura [1]



**Figura 5.** Zonificación del Parque Nacional Santa Fe. Modificado de [1].

## 3. Metodología

Se propone desarrollar un Centro de Investigación de Fauna en el Parque Nacional Santa Fe, con una ubicación privilegiada

lo más cercano posible al centro del poblado de Santa Fe pero que pueda beneficiar a los moradores y potenciar una zona turística.

### 3.1. Criterios de selección del terreno

Se escogerán 3 terrenos dentro del parque que cumplan estos criterios:

1. Cercanía a zonas de avistamiento de especies con mayor volumen.
2. Cercanía al centro del distrito.
3. Ubicados en zona de uso público o zona de manejo especial.

### 3.2. Criterios de evaluación del terreno

Se escogerá el mejor terreno que cumpla con el análisis de los 5 criterios para una mejor ubicación para el desarrollo del diseño.

1. **Accesibilidad:** Se evaluará en función del transporte público y la accesibilidad para vehículos privados y de servicio, considerando la presencia y calidad de carreteras, senderos y caminos accesibles durante todo el año.
2. **Conectividad:** Se evaluará la conectividad mediante la facilidad de acceso desde vías principales y secundarias, incluyendo la calidad y estado de estas vías.
3. **Vitalidad urbana:** Capacidad del sitio para mantener y promover actividades ecológicas, recreativas y educativas, fomentando la interacción social y el ecoturismo.
4. **Alcance de huella:** Evaluar el impacto y la influencia del terreno en las comunidades locales. Identificar las comunidades cercanas que se beneficiarán del proyecto, sin especificar su población exacta.
5. **Biodiversidad:** se evaluará el enfoque en la influencia y frecuencia de avistamientos de fauna. La presencia de especies variadas, sino también la visibilidad y accesibilidad para la observación de la fauna en su hábitat natural.

Los terrenos serán evaluados con la siguiente escala:

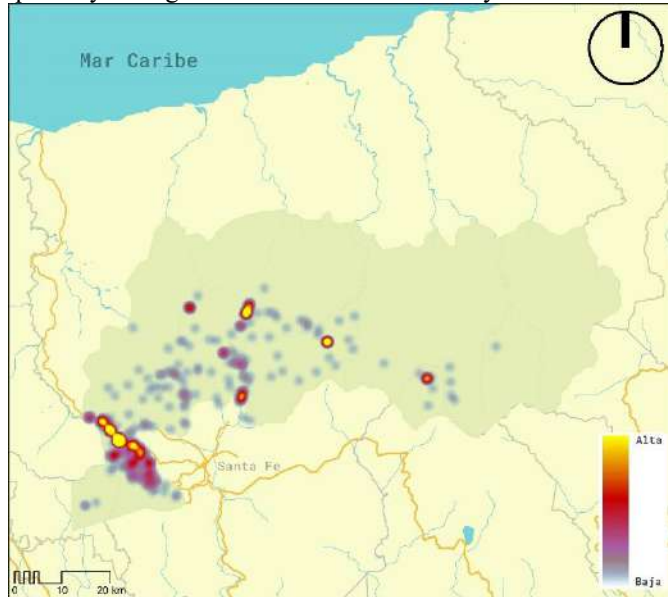
Criterios de evaluación del terreno					
	Accesibilidad	Conectividad	Vitalidad Urbana	Alcance de huella	Biodiversidad
Malo (1-3 pts)	Sin paradas y carreteras de tosca	Sin acceso al terreno	Sin actividad	Sin comunidades	De 0 a 10 avistamientos
Poco eficiente (4-6 pts)	Con paradas y carreteras de tosca	1 acceso al terreno de vía secundaria	1 a 3 actividad ecológica	1 comunidad	10 a 20 avistamientos
Eficiente (7-8 pts)	Sin paradas y carreteras asfaltada	1 acceso al terreno de vía principal	3 a 5 actividades ecológicas	2 comunidades	20 a 30 avistamientos
Muy eficiente (9-10 pts)	Con paradas y carretera asfaltada	1 o más accesos de vías principales y secundarias	5 a 10 actividades ecológicas	3 a 4 comunidades	30 a 50 avistamientos

**Tabla 1.** Criterios de evaluación del terreno

## 4. Resultados

**6.1 Identificación de zonas de avistamiento de especies**

Se identifico mediante este mapa de calor, aquellas áreas donde se han dado avistamiento de especies tanto de mamíferos, aves, réptiles y anfibios. Donde se puede observar que hay un gran volumen en áreas adyacentes a vías.



**Figura 6.** Avistamiento de fauna en el Parque Nacional Santa Fe. Modificado de [22].

**6.2 Identificación de zonas turísticas**

Se muestran aquellos lugares turísticos vinculadas a su riqueza natural. Estas actividades pueden estar estrechamente relacionadas, ya que muchos senderos están destinados a llegar a las cimas de los cerros (Tute, Mariposa y Narices), otras a cascadas como (Bermejo, Alto de Piedra y La Isleta).



**Figura 7.** Mapa de ubicación de puntos turísticos en el distrito de Santa Fe.

**6.3 Vías y comunidades**

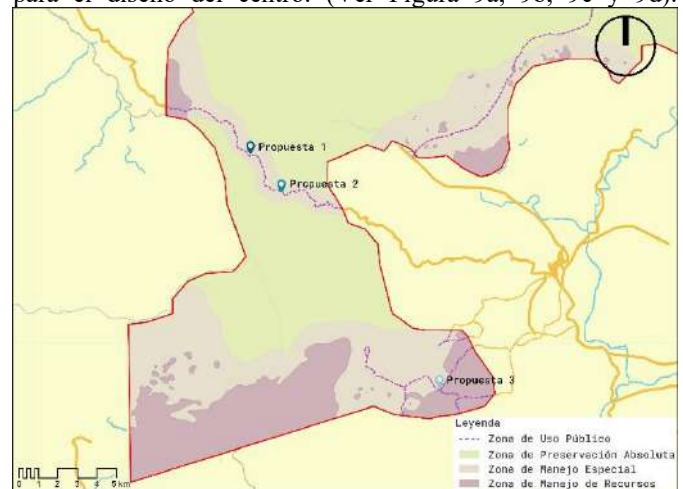
Se puede observar que solo cuenta con una vía de acceso (Vía Santa fe – San Francisco – Santiago) que es la principal. Cuenta con calles locales que llevan a las diferentes comunidades aledañas al centro del distrito, muchas de estas están pavimentadas y otras son de tosco o tierra, debido a que es un área montañosa (Ver Figura 8). Cuenta con una vía hacia la costa norte (Calovébora) que pasa por el PNSF.



**Figura 8.** Mapa de vialidad en el distrito de Santa Fe.

**6.4 Opciones de terreno**

En base a la información recopilada y analizada se escogieron 3 posibles terrenos que cumplen las necesidades para el diseño del centro. (Ver Figura 9a, 9b, 9c y 9d).



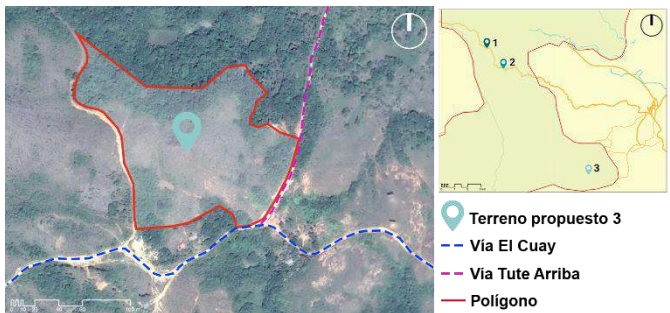
**Figura 9a.** Mapa de ubicación de los terrenos propuestos dentro del PNSF. Modificado de [1].



**Figura 9b.** Propuesta 1 de terreno: Mirador De Loma Grande, área de 7103.42 m<sup>2</sup>.



**Figura 9c.** Propuesta 2 de terreno: Administración del Parque Nacional Santa Fe, área de 1 ha.



**Figura 9c.** Propuesta 3 de terreno: Faldas del Cerro Tute, área de 6.2 ha.

**6.5 Resultados de los criterios de evaluación**

En el criterio de Accesibilidad ambos terrenos tanto el de Mirador como el de la Administración son más eficiente al tener una mejor ruta de bus, en cambio el del Cerro Tute es más deficiente ya que su ruta de bus no es la más optima.

En el criterio de conectividad el más eficiente es el terreno de Cerro Tute ya que cuenta con dos accesos hasta el terreno, si bien su carretera no es de asfalto está en buenas condiciones y así obteniendo el puntaje máximo de 10.

El criterio de vitalidad urbana todos los terrenos están en las mismas condiciones, ya que muchos de las áreas turísticas están fuera del alcance de los terrenos.

El criterio de alcance de huella el terreno más eficiente es el del Cerro Tute, ya que está cerca de comunidades como son Cerro Tute Arriba, El Cuay, Cuaquito y Los Llanos, obteniendo el puntaje máximo de 10.

El criterio de biodiversidad el más eficiente es el terreno de la Administración con avistamientos de 30 especies por eso se llevó una puntuación de 9.

Evaluación de terrenos						
Terrenos	Accesibilidad	Conectividad	Vitalidad Urbana	Alcance de huella	Biodiversidad	Total
Mirador de Loma Grande	9	8	7	4	8	36
Frente de Administración del PNSF	9	7	6	4	9	35
Faldas del Cerro Tute	6	10	6	9	6	37

**Tabla 2.** Resultado de evaluación de terreno.

**5. Discusión**

Los tres terrenos encontrados tenían limitaciones, ya sea en su polígono, ubicación y accesos. El primer terreno que es el del Mirados de Loma Grande, hoy como su nombre indica es un mirador, un punto de encuentro y de avistamiento de la cordillera central como de animales, el único contra de este terreno era su polígono. El segundo que esta frente a la Administración del PNSF, su topografía no era la mas optima para el desarrollo del centro, al igual que el anterior representa un punto estratégico. Y el tercero en las faldas del Cerro Tute, su mayor contra es la ubicación, un poco lejana a la vista de las personas, aunque se encuentra influenciado por el Cerro Tute que es uno de los atractivos turísticos del PNSF, pero su polígono que es extenso podría facilitar el desarrollo del centro.

Las limitaciones de este trabajo fueron mas que todo en la búsqueda de información relevante, precisa y actualizada. Como es un parque poco estudiado la información no es tan actual como otros parques. Al igual que la delimitación de los terrenos, ya que no existen terrenos públicos para tal fin. De esta manera investigar sobre centros de investigación que se dediquen a la fauna, significa un reto ya que no hay mucha información al respecto.

**6. Conclusiones**

En lo que respecta a los atractivos del Parque Nacional Santa Fe tenemos:

- Que es el quinto parque más grande de Panamá y el segundo en la provincia de Veraguas.
- Es el cuarto parque con más aves y mamíferos.
- Es el tercer parque con más reptiles y anfibios.
- Exhibe 7 hermosas cascadas.
- Casi el 90% de la superficie del parque es bosque virgen.

Es importante resaltar que los criterios son una base para identificar el terreno más eficaz para el buen funcionamiento del centro, por lo tanto, los tres terrenos tienen una media de 7.2.

Bajo los criterios evaluados se encontró lo siguiente:

- El terreno de las Faldas del Cerro Tute tiene un promedio de 7.4 lo que lo hace eficiente para el desarrollo del Centro. Cuenta con una superficie considerablemente amplia y se ubica en una zona atractiva.
- El terreno del Mirador de Loma Grande tiene un promedio de 7.2 que lo hace de igual manera eficiente, pero en el alcance de huella resalta una inconsistencia, a pesar de estar ubicado en un área altamente transitado.
- El terreno de Administración del Parque Nacional Santa Fe tiene un promedio de 7.0 que al igual que los demás lo hace eficiente, a pesar de tener mas avistamientos de especies no es eficiente en alcance de huella.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer al equipo SusBCity y en especial a Sofia Miranda por su apoyo constante y su motivación para lograr el desarrollo de este estudio, al igual que a Gloris Cedeño por su invaluable apoyo y ser la fuente para desarrollar esta investigación sobre este tema.

## REFERENCIAS

- [1] Autoridad Nacional del Ambiente, Corporación de Desarrollo Ambiental. (14 de octubre de 2013). "Plan de Manejo del Parque Nacional Santa Fe". Obtenido de [https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/27607\\_A/GacetaNo\\_27607a\\_20140826.pdf](https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/27607_A/GacetaNo_27607a_20140826.pdf)
- [2] Ministerio de Ambiente de Panamá. (9 de julio de 2019). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Obtenido de <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Tercera%20Comunicacion%20Nacional%20Panama.pdf>.
- [3] SINIA. (2021). Informe Ejecutivo del Mapa de Cobertura Boscosa y Uso de Suelo, año 2021. Ministerio de Ambiente de Panamá. Obtenido de <https://sinia.gob.pa/informe-ejecutivo-del-mapa-de-cobertura-boscosa-y-uso-de-suelo-año-2021/>
- [4] Bóers, N., Marwan, N., Barbosa, H.M.J., & Kurths, J. (2017). Un punto de inflexión inducido por la deforestación para el sistema monzónico de América del Sur. *Informes Científicos*, 7, Artículo 41489. Obtenido de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85010806149&origin=inward&txGid=2a1bd71e26ffa9ed4cde9928366ef409>.
- [5] Centro para la Investigación Forestal Internacional y el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (CIFOR-ICRAF). (2025). Deforestación y pérdida de biodiversidad. Obtenido de <https://www.cifor-icraf.org/es/nuestra-investigacion/desafios/deforestacion-y-perdida-de-biodiversidad/>
- [6] Ministerio de Ambiente de Panamá. (30 de octubre de 2021). COMUNICADO - MiAmbiente. Obtenido de MiAmbiente - Ministerio de Ambiente: <https://www.miambiente.gob.pa/124296-2/>
- [7] Naciones Unidas. (12 de noviembre de 2021). Ecosistemas: Hemos protegido más áreas terrestres, pero seguimos perdiendo biodiversidad. Obtenido de Noticias ONU: <https://news.un.org/es/story/2021/05/1492222>
- [8] Sriarkarin, S., & Lee, C.-H. (2018). Integrating multiple attributes for sustainable development in a national park. *Tourism Management Perspectives*, 28, 113–125. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2018.08.007>
- [9] Sheng, J., & Cheng, Q. (2024). National parks as the materialized imaginary of ecological civilization in China. *Environmental Science & Policy*, 152, 103660. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103660>
- [10] Autoridad Nacional del Ambiente. (julio de 2010). Cuarto Informe Nacional de Panamá ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Obtenido de Convention on Biological Diversity: <https://www.cbd.int/doc/world/pa/pa-nr-04-es.pdf>
- [11] Zeballos, E. (17 de febrero de 2021). Veraguas es la provincia que ha perdido mayor zona boscosa en los últimos años. Obtenido de El Siglo: <http://elsiglo.com.pa/panama/veraguas-provincia-perdido-mayor-zona-boscosa-ultimos-anos/24172934>
- [12] Camarena, F., Arosemena Preciado, L., Calderón R., R.A. (2025). Efecto de la actividad antropogénica en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Santa Fe, Panamá. *REDES*, 1(17), 138–158. DOI: <https://doi.org/10.57819/j8se-wr70>
- [13] Minciencias. (s.f.). Centros / Institutos de Investigación. Obtenido de Minciencias : [https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento\\_de\\_actores/centros-institutos-investigacion#:~:text=Organizaciones%20p%C3%BAblicas%2C%20privadas%20o%20mixtas,en%20l%C3%ADneas%20de%20investigaci%C3%B3n%20espec%C3%ADficas.](https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento_de_actores/centros-institutos-investigacion#:~:text=Organizaciones%20p%C3%BAblicas%2C%20privadas%20o%20mixtas,en%20l%C3%ADneas%20de%20investigaci%C3%B3n%20espec%C3%ADficas.)
- [14] Garay-Flühmann, R., Cárcamo Vargas, F., Reyes Araya, L., & Méndez-Garay, M. (enero de 2014). Manual de Investigación Ambiental. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/268513572\\_MANUAL\\_DE\\_INVESTIGACION](https://www.researchgate.net/publication/268513572_MANUAL_DE_INVESTIGACION)
- [15] Molina, R. T., Obón, E., & Darwich, L. (7 de febrero de 2024). Morbilidad y factores pronósticos asociados a erizos silvestres ingresados en un centro de rehabilitación de fauna silvestre en Cataluña (NE de España) desde 1995 hasta 2020. *Animals*, 14-556. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ani14040556>
- [16] Sleeman, J. M. (2008). Chapter 12 - Use of wildlife rehabilitation centers as monitors of ecosystem health. In M. E. Fowler & R. E. Miller (Eds.), *Zoo and Wild Animal Medicine (Sixth Edition)* (pp. 97–104). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-141604047-7.50015-4>
- [17] Cedeño Lezcano, J. I., & Perén Montero, J. (2024). Criterios Para la Selección de un Terreno Para un Mercado Público En Panamá Norte. *SusBCity*, 6(1), 1–6. Obtenido de <https://doi.org/10.48204/2710-7426.4774>
- [18] Olson, L. E., Squires, J. R., Roberts, E. K., Miller, A. D., Ivan, J. S., & Hebblewhite, M. (2017). Modeling large-scale winter recreation terrain selection with implications for

- recreation management and wildlife. *Applied Geography*, 86, 66–91. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.023>
- [19] Gaceta Oficial 147 de 2001. Por el cual se declara el Parque Nacional Sante Fe, en el Distrito de Santa Fe, Provincia de Veraguas, gaceta publicada el 28-12-  
<https://docs.panama.justia.com/federales/decretos-ejecutivos/147-de-2001-dec-28-2001.pdf>
- [20] Municipio de Santa Fe. (octubre de 2017). Plan Estratégico del Distrito de Santa Fe. Obtenido de Municipio de Santa Fe: <https://municipios.silice.si/santafe/wp-content/uploads/2023/03/regla-de-procedimiento-2-1543243409.pdf>
- [21] Ministerio de Ambiente de Panamá. (2025). Áreas Protegidas. Obtenido de [https://geoportal.miambiente.gob.pa/server/rest/directories/arcgisoutput/Utilities/PrintingTools\\_GPServer/\\_ags\\_d8849106-cb17-11ef-832d-00155d027e04.pdf](https://geoportal.miambiente.gob.pa/server/rest/directories/arcgisoutput/Utilities/PrintingTools_GPServer/_ags_d8849106-cb17-11ef-832d-00155d027e04.pdf).
- [22] iNaturalist Panamá. (s.f.). Observaciones en el PNSF. Obtenido de iNaturalist: [https://panama.inaturalist.org/observations?place\\_id=137288&verifiable=any](https://panama.inaturalist.org/observations?place_id=137288&verifiable=any)

## Caracterización de la morfología urbana de un sector de Betania y Pueblo Nuevo entre las estaciones del metro 12 de Octubre e Ingenio

Characterization of the urban morphology of a sector of Betania and Pueblo Nuevo between the 12 de Octubre and Ingenio metro stations

*Jorge Isaac Perén Montero*

*Universidad de Panamá, Facultad de Arquitectura y Diseño, Panamá*

[jorge.peren@up.ac.pa](mailto:jorge.peren@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0003-4762-9255>

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 20 de enero de 2025.

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6858>



### RESUMEN

Se realiza una caracterización de la morfología urbana en un sector de Betania y Pueblo Nuevo, entre las estaciones del metro de la 12 de Octubre y el Ingenio. Este sector está en crecimiento y todavía carece de edificaciones de gran altura por lo cual el estudio es pertinente. El sector presenta cuadras extremadamente grandes, por encima del tamaño ideal. La Vía Transisthmica tiene una baja conectividad peatonal, pues tiene casi ninguna intersección completa en un rango de 1 kilómetro. Sin embargo, el sector tiene potencial para ser readecuado mediante instrumentos de ordenamiento territorial o intervenciones urbanas consientes de la falencia del sector.

**PALABRAS CLAVE:** Cañón urbano, ventilación urbana, área publica verde, forma urbana, tejido urbano, tamaño de cuadras.

**Abstract:** Urban morphology is characterized in a sector of Betania and Pueblo Nuevo, between the 12 de Octubre and Ingenio metro stations. This sector is growing and still lacks high-rise buildings, so the study is pertinent. The sector has extremely large urban blocks, above the ideal size. The Transisthmian Highway has low pedestrian connectivity, as it has almost no complete intersection within a range of 1 kilometer. However, the sector has the potential to be readjusted through territorial planning instruments or urban interventions that are aware of the sector's shortcomings.

**Keywords:** Street canyon, Urban ventilation, Green public area, Urban form, Urban tissue, Block size.

## 1. INTRODUCCIÓN

La adecuada forma física de las calles puede contribuir a la resiliencia urbana, entre otras cosas, mejorando el microclima urbano, reduciendo el consumo de energía y sus emisiones

asociadas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), mejorando el capital social, mejorando la salud y el bienestar de la comunidad y facilitando un acceso rápido y eficaz a emergencias después de desastres [1]. La morfología urbana influye en el microclima urbano, y viceversa, por lo cual es fundamental tomar en cuenta el clima local en el diseño urbano especialmente en las ciudades con altas densidades [1]. En áreas urbanas muy densas, la difusión turbulenta es la mezcla que está causada por remolinos de vientos que juegan un papel importante en el transporte de partículas de manera vertical y en la ventilación urbana, como resultado de la falta de uniformidad en las alturas de los edificios [3]. La ventilación urbana débil tiene un efecto significativo en el consumo de energía del edificio, la salud de los peatones y la calidad del aire interior [3].

En algunas ciudades, la urbanización puede contribuir a más del 80% del calentamiento local, y se ha convertido en el más determinante factor del entorno climático urbano [4]. La isla de calor urbana es simplemente el calor característico de un pueblo o ciudad y se define sobre la base de las diferencias de temperatura entre las estaciones urbanas y rurales. Se debe a modificaciones humanas de la superficie y las propiedades atmosféricas que acompañan el desarrollo urbano y es probablemente el mejor ejemplo de cambio climático inadvertido [5].

La forma de la cuadra es un factor significativo para la definición de eficiencia energética a escala de ciudad [6]. En los grandes centros urbanos tropicales, el uso de espacios abiertos, como los cañones urbanos de las calles, por parte de los peatones es muy frecuente, exponiéndolos a altas cargas térmicas, lo que puede provocar molestias térmicas. La readaptación o la mejora de la planificación de estos espacios puede aumentar el confort térmico, reducir el consumo de energía y fomentar el uso de espacios públicos, entre otros beneficios [7].

En Panamá se ha realizado algunos estudios enfocados en la morfología urbana (tamaño y forma de la cuadra) y la conectividad del tejido urbano en el sector de Obarrio [8], en Paitilla [9], en el casco de Colón [10], en El Carmen [11] y en David [12]. Por un lado, [10 y 12] destacan que gran parte del área estudiada, en el casco de la Ciudad de Colón y David respectivamente, existen cuadras con tamaños ideales (de 1 hectárea en promedio) y un alto índice de intersecciones completas o conectadas, siendo buenos indicadores que favorecen la caminabilidad en dichos sectores. En David [12], las cuadras poseen un tamaño aproximado de 1.5 a 1.7 hectáreas (siendo el área mínima entre 0.8 a 1.1 y la máxima de 3.7 hectáreas). Sus dimensiones oscilan entre 168m x 50m

de ancho favoreciendo la caminabilidad y conectividad del sector.

Sin embargo, en los sectores de Obarrio [8], Paitilla [9] y El Carmen [11] las condiciones no son muy adecuadas para fomentar la caminabilidad. [8] destaca que en el área de estudio en Obarrio, a pesar de tener un trazado mayormente regular con cuadras de tamaños ideales y presentar mayor área verde, existen sectores desconectados de las Avenidas principales: Vía España y Vía Brasil; [9] también afirma que las condiciones morfológicas (tejido urbano) actuales en Paitilla no favorecen a los peatones, siendo un sector con trazado vial mayormente irregular, cuadras extremadamente grandes y con menor área verde o permeable que otros sitios aledaños; [11] destaca que la cuadra paralela a la vía transistmica y a la Avenida Ramón Arias en un sector de El Carmen (Bella Vista), es la mayor cuadra del área de estudio con una superficie de más de 80,000m<sup>2</sup> y que el porcentaje de áreas verdes es de apenas un 2.34% con un área permeable del 4.61%; aspectos que en conjunto no incentivan la caminabilidad.

Dentro de la literatura científica nacional no se encuentran investigaciones o documentos sobre la morfología urbana de Bethania, uno de los corregimientos más habitados de la ciudad. Por lo cual, este estudio tiene por objetivo general la caracterización de la morfología urbana del sector comprendido entre la estación del metro Ingenio y la estación 12 de Octubre, en el corregimiento de Bethania y Pueblo Nuevo, utilizando como manera de estudio la recolección de información a través de gráficos y mapeos. Entre los objetivos específicos está identificar y describir en la zona de estudio (a) los espacios públicos y áreas verdes existentes; (b) las distancias entre edificios y forma espacial urbana; (c) las alturas de los edificios y la relación espacial entre sí; (d) evaluar el tejido, la forma y tamaño de las cuadras; y (e) el asoleamiento resultante.

## 2. METODOLOGÍA

Bethania tiene una extensión de 8.6 km<sup>2</sup> y en ella se encuentran edificaciones de distintas alturas con diversidad de uso de suelos. Por lo cual, se tomó como área de estudio una pequeña muestra que considerada las cuadras entre las Estaciones de metro del Ingenio y 12 de octubre [Figura 1], en donde se sitúan vías principales y ampliaciones de calles, con la presencia de edificios residenciales, casas y comercios. Es una zona céntrica delimitada por dos estaciones de la línea 1 del metro y con gran flujo vehicular y peatonal. El área consta de edificios: residenciales, comerciales, uso mixto y casas, cada uno de estos con distintas alturas.

En el sector seleccionado se realizará un estudio a través de mapas donde se especificará su localización y sus alrededores, uso de suelo, orientación vial, servidumbre de calles, áreas verdes y parques públicos, zonificación del área, tamaño y metraje de las cuadras. Posteriormente, se identificará la relación altura-ancho promedio de algunos sectores. Finalmente, se seleccionará uno de los sectores para estudiar el asoleamiento empleando un software 3D con el modelo georreferenciado.

### 2.1 Sector estudiado

La figura 1 muestra la zona de estudio, principales avenidas, estaciones de metro y puntos de interés del lugar, tales como la Vía Transistmica, Av. La Paz, Av. 12 de octubre, Av. 14 C Norte, Av. Fernández De Córdoba, Las estaciones del metro de Panamá 12 de octubre y El Ingenio [13].

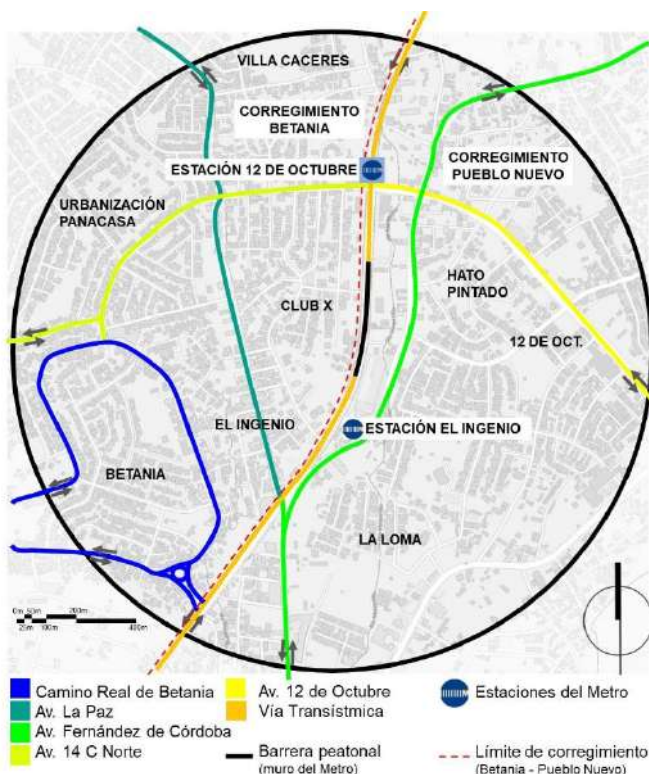


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio con identificación de las principales avenidas y calles.

### 2.2 Elaboración de mapas y estudio de áreas verdes

Se desarrollaron mapas para representar algunas variables (ej. tamaño de cuadras, altimetría y forma urbana, áreas verdes, conectividad al transporte público, etc.) relacionadas con la caminabilidad y el microclima en el área de estudio. Para identificar y desarrollar la zona de estudio, se utilizó google earth [18]. En cuanto al desarrollo de los mapas de

zonificación, servidumbres, áreas verdes y conectividad al transporte público se empleó la base de datos del ministerio de vivienda y ordenamiento territorial (MIVIOT) [14], complementada con informaciones de google maps.

El mapa de parques oficiales se realizó utilizando google maps [16] y datos oficiales proporcionados por arcgis (sitio web de mupa), tomando en cuenta árboles y suelos naturales (tierra y/o praderas) para encontrar las áreas verdes públicas del lugar.

Para el mapa de paradas se utilizó los datos obtenidos de google maps [17], el cual también fue de gran utilidad para la elaboración de: mapa de altura de edificios en donde para conocer dicha altura se realizó un conteo de los pisos de los edificios, dicho mapa se complementó utilizando google earth [18]. Con el fin de confeccionar los mapas de cuadras (tamaño de cuadras) y de relación alto ancho se empleó la base de datos de google maps. Se estableció una plantilla de mapas con el mismo diámetro para mantener una misma escala y facilitar las lecturas, empleando la base de datos de open street map.

### 2.3 Relación alto/ancho (h/w)

Para el cálculo de la relación alto/ancho se empleó el trabajo de [19], el cual está ilustrado parcialmente en la Figura 2. Para el cálculo de la relación alto/ancho se tomaron 4 cuadras que cuentan con edificaciones de distintas alturas; demarcadas en la Figura 3. Por ejemplo, en la cuadra A encontramos en su mayoría casas y un edificio pequeño. En la mazana B encontramos también muchas casas a excepción de la Vía Transistmica que cuenta con el P.H. Macedonia Towers, uno de los más altos de la zona y también se encuentran pequeños edificios que oscilan entre los 12m y los 21m. La cuadra D lateral a la Avenida de la Paz encontramos el Residencial Turístico Ibiza como uno de los edificios de mediana altura y por último, tomamos la cuadra C frente a la Vía Transistmica donde encontramos edificios como Plaza Ágora, P.H. Cosmopolitan Towers y el Edificio Bolívar.

Realizar el cálculo de la relación entre la altura de los edificios y su servidumbre (considerando por supuesto la orientación), es un primer indicador de sitios con temperatura agradable. Indicador que posteriormente, en futuros estudios, podrá correlacionarse con los vientos dominantes.



Figura 2. Cálculo de la relación alto-ancho [19]

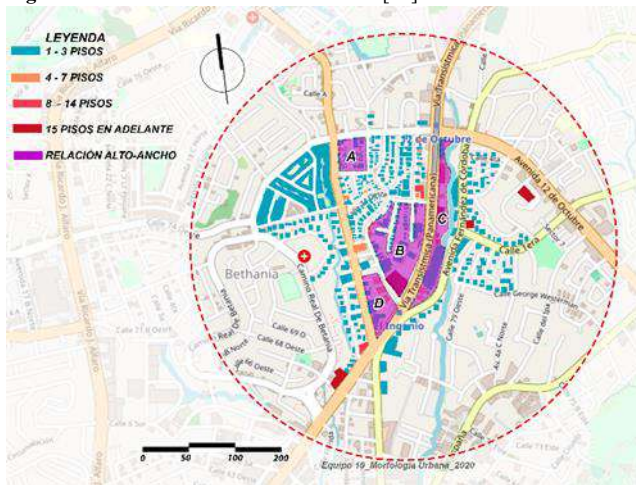


Figura 3. Mapa de relación alto-ancho.

### 2.3 Estudio de aseoleamiento en un sector

Se realizó un estudio de aseoleamiento en algunas horas del día (a las 8:00am, 10:00am, 12:00pm, 2:00pm y 4:00pm), durante un período específico del año para identificar el impacto de la morfología de los edificios, a través de su sombra, en los espacios públicos o servidumbres.

## 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del sector seleccionado para el estudio.

### 3.1 Uso de suelo del sector

La figura 4 muestra el mapa de uso de suelo a lo largo de las principales avenidas y calles, con indicación de las diferentes zonificaciones del sector estudiado. Se aprecia en su mayoría el uso residencial de mediana y alta densidad, así como el residencial de alta densidad de uso mixto, este último predominante en la Vía Transísmica y Avenida La Paz. Se observa también pequeños sectores exclusivos de uso comercial e industrial y poca presencia de espacios institucionales y públicos.

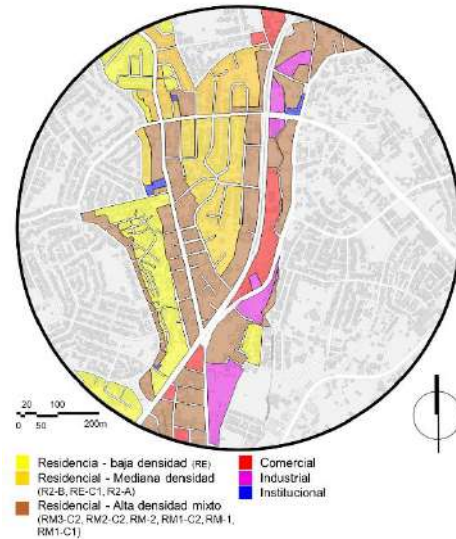


Figura 4. Mapa de uso de suelo a lo largo de las principales avenidas, con base en [14 y 15].

### 3.2 Áreas verdes y permeables

En la figura 5 se muestran las áreas verdes como las huellas de los parques existentes en el sector, así como su superficie aproximada y su porcentaje (%) con respecto al sector estudiado. La superficie dentro de la circunferencia tiene un área de 4,154,756.28m<sup>2</sup> y el área verde representa sólo el 3.53%. La ubicación entre dichas áreas verdes es un tanto distante entre sí. El sector de Club X y El Ingenio (cercano a la estación del metro) presentan escasas áreas verdes.



Figura 5. Mapa de áreas verdes

### 3.3 Servidumbres viales

En la figura 6 se muestra las servidumbres de las principales calles del sector estudiado. Las cuales van desde los 11m

(siendo la de menor largura) hasta los 60.96m (la de mayor largura), posee paradas de metrobús que se encuentran ubicadas aprox. a 300m entre ellas (en las principales avenidas) y las estaciones de metro con 1km de distancia entre la estación 12 de octubre y la estación El Ingenio. No existen paradas de buses atrás de la estación el Ingenio, en el interior del barrio. La Vía Transmítica está poco conectada transversalmente.



Figura 6. Mapa de servidumbre con identificación de paradas de metro y de autobuses.

### 3.4 Superficie de las cuadras

La figura 7 muestra el mapa de superficie de cuadras; los colores calientes son las cuadras mayores (ej. el rojo representa una cuadra de 8.1ha a 10ha) y los colores fríos, las menores cuadras (el azul representa el tamaño ideal de 1ha). Las formas de las cuadras son irregulares y, en su mayoría, sus tamaños están muy distantes del tamaño ideal, lo cual no favorece la caminabilidad del sector.

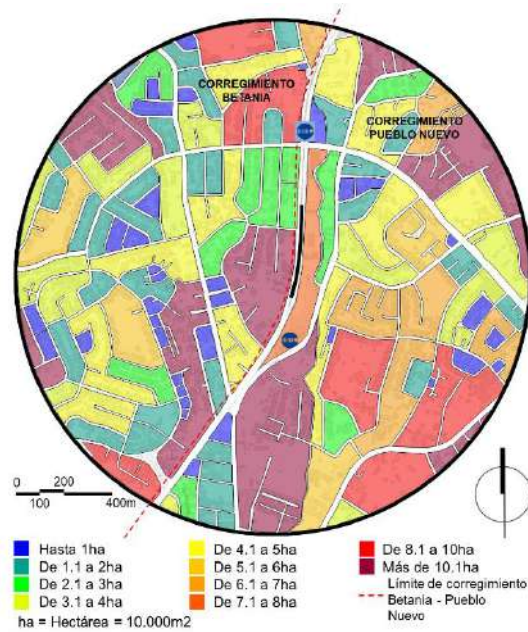


Figura 7. Mapa de superficie (hectáreas) de cuadras.

### 3.5 Altimetría de los edificios

La figura 8 muestra las diferentes alturas de los edificios de la zona de estudio. En la Vía Transmítica, Av. La Paz y la Av. 12 de octubre las alturas de los edificios oscilan entre 1 a más de 15 pisos. Siendo así, el PH. Macedonia Towers es el más alto de la zona de estudio [14].

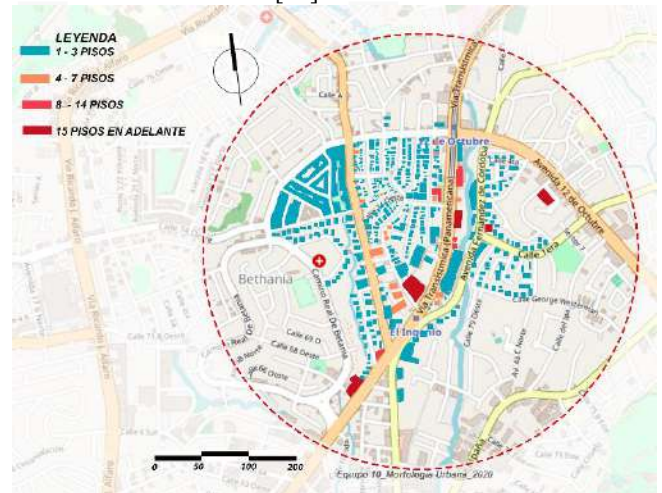


Figura 8. Mapa de altimetría

### 3.6 Relación alto – ancho

La tabla 1 muestra la altura promedio, ancho de calle y relación alto-ancho en las cuadras seleccionadas y destaca previamente en la figura 3. La cuadra B es la única que tiene su relación promedio arriba de 1; siendo esta de 1.33. La relación arriba de 1, vinculada a la orientación del tejido urbano u orientación de los edificios, es un indicador del

potencial beneficio de sombra proyectada de los mismos. Para evaluar esto, se seleccionó el sector B.

ÁREA	ALTURA PROMEDIO	ANCHO DE CALLE	RELACIÓN
MANZANA A	8.00m	15.00m	0.53
MANZANA B	20.00m	15.00m	1.33
MANZANA C	24.00m	30.48m	0.78
MANZANA D	14.00m	15.00m	0.93

**3.6.1 Estudio de asoleamiento en el sector B: Transístmica**

La figura 10 muestra el estudio de asoleamiento en el sector B, con la proyección de sombras a las (a) 8:00am, (b) 10:00am, (c) 12:00pm, (d) 2:00pm y (e) 4:00pm el 21 de diciembre (solsticio de invierno). Muy poca sombra proyectada se experimenta a lo largo de la Vía Transístmica después de las 9am.

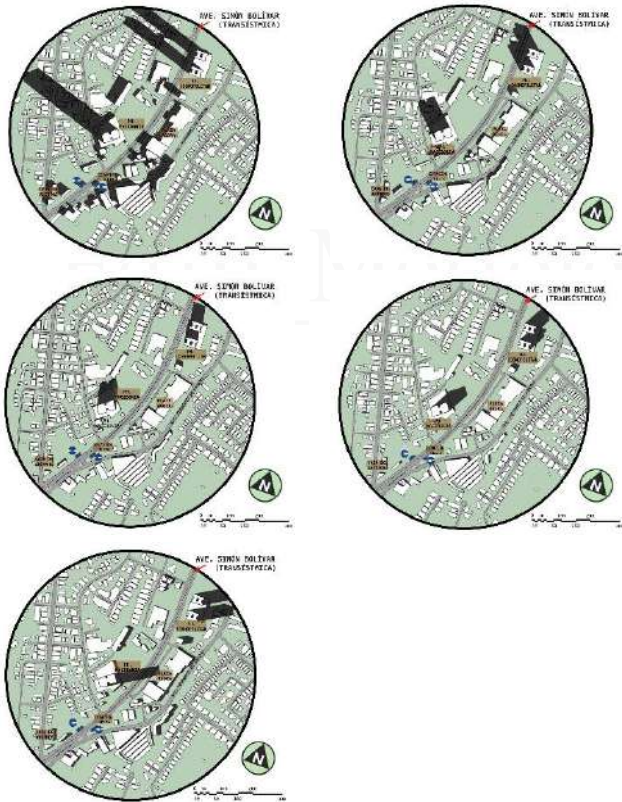


Figura 10. Estudio de sombras a las (a) 8:00a, (b) 10:00am, (c) 12:00pm, (d) 2:00pm y (e) 4:00pm

Se observa que los edificios en el sector B no aportan muchas sombras a las áreas de servidumbre pública, salvo en las horas de la mañana (entre 6am y 10am).

**4. DISCUSIÓN**

Se sugiere que en estudios futuros se analice:

- la cantidad de área verde, específicamente de árboles existentes y la relación altura-ancho para cuantificar los beneficios ambientales, sociales y económicos.
- la conectividad vial y la calidad de las intersecciones.
- la ventilación urbana de este sector, en especial el de la Avenida Transístmica para evaluar el confort ambiental urbano y favorecer el ahorro energético de futuros edificios futuros a ser construidos en el sector.

La tendencia a la densificación a lo largo de la vía transístmica en Betania es evidente, pero aún se está a tiempo para establecer directrices que favorezcan la ventilación del sector y de futuros edificios. Entre más altos sean los edificios, y menor la distancia entre ellos, menor será el potencial de ventilación. Betania tiene mucho potencial para que a través de un plan de ordenamiento se garantice la ventilación urbana sin limitar su potencial de densificación. Para esto se recomienda el uso de la simulación computacional CFD.

La Vía Transístmica está poco conectada transversalmente lo cual es un problema pues esto no favorece la conectividad peatonal entre sectores. Sin embargo, la misma tiene potencial para realizar adecuaciones o crear instrumentos legales como los incentivos para que la planta baja de los lotes o propiedades privadas fomenten la caminabilidad por medio de espacios semipúblicos.

Los resultados presentados no son conclusivos pero si traen indicios de la realidad de la morfología urbana del sector.

**5. CONCLUSIONS**

El presente estudio realizado en Betania tiene las siguientes conclusiones:

**Sobre el uso de suelo del sector:**

Predomina el uso residencial de mediana y alta densidad, así como el residencial de alta densidad de uso mixto en la Vía Transístmica y Avenida La Paz. Se observa también pequeños sectores exclusivos de uso comercial e industrial y poca presencia de espacios institucionales y públicos.

**Sobre las áreas verdes y permeables:**

El área verde representa sólo el 3.53% (área total de 4,154,756.28m<sup>2</sup>) y las distancias entre áreas verdes es considerable. El sector de Club X y El Ingenio (cercano a la estación del metro) no tienen áreas verdes

**Sobre las servidumbres viales:**

Las servidumbres de las principales calles van de 11m a 60.96m; siendo la de mayor largura la Vía Transístmica. Posee paradas de metrobus ubicadas aprox. a 300m entre ellas (en las principales avenidas). Las estaciones de metro están a 1km de distancia entre la estación 12 de octubre y la estación El Ingenio. No existen paradas de buses atrás de la estación el Ingenio, en el interior del barrio.

**Sobre la superficie de las cuadras:**

Las formas de las cuadras son irregulares y, en su mayoría, sus tamaños son mayores de 5 hectáreas, estando muy por encima del tamaño ideal que es de 1ha, lo cual no favorece la caminabilidad del sector.

**Sobre la altimetría de los edificios:**

En la Vía Transistmica, Av. La Paz y la Av. 12 de octubre están los edificios más altos, oscilando entre 1 a más de 15 pisos. Siendo así, el PH. Macedonia Towers es el más alto de la zona de estudio. Quiere decir que tiene alto potencial de ventilación en función del espacio existente entre las edificaciones.

**Sobre la relación alto – ancho y el estudio de asoleamiento:**

Betania aún tiene poca densificación; solo el sector B presentó una relación alto-ancho arriba de 1. Entretanto, el estudio de asoleamiento en dicho sector B, mostró muy poca sombra proyectada a lo largo de la Vía Transistmica; beneficios potenciales de las relaciones alto-ancho arriba de 1.

**REFERENCIAS**

- [1] A. Sharifi, "Resilient urban forms: A review of literature on streets and street networks." *Building and Environment*, 147, pp. 171-187, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.040>
- [2] R. Wei, D. Song, N. H. Wong, and M. Martin, "Impact of Urban Morphology Parameters on Microclimate," *Procedia Eng.*, vol. 169, pp. 142–149, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.017>
- [3] M. Shirzadi, Y. Tominaga, and P. A. Mirzaei, "Experimental study on cross-ventilation of a generic building in highly-dense urban areas: Impact of planar area density and wind direction," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 196, p. 104030, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.jweia.2019.104030
- [4] X. Lai, Y. Tang, L. Li, P. W. Chan, and Q. Zeng, "Study on microclimate observation network for urban unit: A case study in a campus of Shenzhen, China," *Phys. Chem. Earth*, vol. 110, pp. 117–124, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.pce.2018.08.003
- [5] T.R., Oke. "The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. " In: Cermak, J.E., Davenport, A.G., Plate, E.J., Viegas, D.X. (eds) *Wind Climate in Cities*. NATO ASI Series, vol 277. Springer, Dordrecht, 1995. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3686-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3686-2_5)
- [6] Tsirigoti, D., & Tsikaloudaki, K. "The Effect of Climate Conditions on the Relation between Energy Efficiency and Urban Form." *Energies*, 11(3), 582, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11030582>
- [7] C. Martínez G., "Relación entre el ancho de las calles y alto de los edificios, Plataforma Urbana", Octubre, 28, 2014, Sitio Web: <https://www.plataformaurbana.cl/archive/2014/10/28/la-relacion-entre-ancho-de-las-calles-y-la-felicidad-de-los-peatones/>
- [8] Jiménez, P., López, A., Villa, M., Wilson, D., & Perén, J. I. "Caracterización de la morfología urbana de un sector de Obarrio". *SusBCity*, 3(1), 25–30, 2021. Recuperado a partir de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/SusBCity/article/view/2008>
- [9] Cuellar, K., López, A., Montenegro, R., Ramos, M., & Perén, J. I. "Estudio de la morfología urbana del sector de punta Paitilla". *SusBCity*, 3(1), 39–43. 2021. Recuperado a partir de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/SusBCity/article/view/2010>
- [10] Bush, G., & Perén, J. I. "Morfología urbana del casco de la ciudad de colón y un acercamiento a calle 13 de colón". *susbcity*, 6(1), 14–22, 2024. <https://doi.org/10.48204/2710-7426.4776>
- [11] González, M., Navarro, T., Saldaña, M., Ayarza, G., & Perén, J. I. "Estudio de la morfología urbana del sector del Cangrejo y el Carmen". *SusBCity*, 3(1), 49–53, 2021. Recuperado a partir de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/SusBCity/article/view/2012>
- [12] Restrepo, D., Aponte, E., Yan Kuang, T., Capuñay, Z., & Perén, J. I. "Relación entre la sombra y espacios verdes públicos en la Ave. 3a este y Ave. 4a este en David, provincia de Chiriquí." *SusBCity*, 6(1), 37–43, 2024. <https://doi.org/10.48204/2710-7426.4779>
- [13] Metro de Panamá. (S.F). Plan Parcial de Ordenamiento Territorial del Polígono de Influencia de la Línea 1 del Metro de Panamá (PPMP)... Julio 7, 2020, de Metro de Panamá Sitio web: <https://www.elmetrodepanama.com/wp-content/uploads/2019/04/Actualizaci%C3%B3n-al-Plan-Parcial-de-Ordenamiento-Territorial-del-Pol%C3%ADgono-de-Influencia-de-la-L%C3%ADnea-1-del-Metro-de-Panam%C3%A1-y-su-extensi%C3%B3n-a-Villa-Za%C3%ADta.pdf>
- [14] Zonificación mivi: Ministerio de Vivienda. (S.F). DOCUMENTO GRÁFICO DE ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE PANAMÁ. JULIO 7,2020, de MIVIOT Sitio web: <https://www.miviot.gob.pa/index.php/documento-grafico-de-zonificacion-de-la-ciudad-de-panama/>
- [15] MIVI. (2011). Plano oficial del Corregimiento de "Bethania". Julio 7, 2020, de MIVIOT Sitio web:

- <https://www.miviot.gob.pa/documento-grafico-de-servidumbres-y-lineas-de-construccion/index.html>
- [16] Open Street Maps (2020). Mapas <https://www.openstreetmap.org/directions#map=16/9.0236/-79.5055>
- [17] Mercado, H. (2020), Google Maps, Street View <https://www.google.com/maps/@9.01656,-79.517349,3a,75y,337.43h,90t/data=!3m8!1e1!3m6!1sAF1QipO5KpUaR9pJkCh20jKTMbymBHBi1tFx7B64TBwy!2e10!3e11!6shttps:%2F%2Flh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipO5KpUaR9pJkCh20jKTMbymBHBi1tFx7B64TBwy%3Dw203-h100-k-no-pi-0-ya135.6837-ro-0-fo100!7i7168!8i3581>
- [18] Google Earth, Google Maps, (2020). Mapas <https://www.google.com/maps/@9.0108603,-79.5183387,16.04z>
- [19] L. P. Muniz-Gaal, C. C. Pezzuto, M. F. H. de Carvalho, and L. T. M. Mota, “Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate,” *Build. Environ.*, vol. 169, p. 106547, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106547

Eq10\_Morfología\_Urbana\_2020

## Hospital San Juan de Dios. Primer Asilo y Hospital de la ciudad de Santiago

San Juan de Dios Hospital. First Asylum and Hospital of the city of Santiago

---

*Sebastián Ariel Aguilar Medina*

*Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Facultad de Arquitectura y Diseño, Panamá.*

[Sebastian.aguilar@up.ac.pa](mailto:Sebastian.aguilar@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0001-6293-7059>

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 18 de enero de 2025.

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.6859>



**RESUMEN:** Este artículo está basado en la investigación denominada Evolución y Desarrollo de la Arquitectura Religiosa en la Provincia de Veraguas, utilizando la investigación arquitectónica e historiográfica recopilada y analizada sobre esta la Iglesia San Juan de Dios, primera iglesia de Santiago de Veraguas, y de las primeras edificaciones de la época Colonial en la región. Se analizan elementos como; la fundación de la misma, evolución constructiva, materiales y procedencia de los mismos.

El desarrollo de este artículo, se desarrolla de manera cronológica para aclarar más el panorama del estudio de esta Iglesia, que es parte importante de esta ciudad, hace más de cuatrocientos años.

**PALABRAS CLAVE:** San Juan de Dios, Santiago, Veraguas, iglesia, arquitectura colonial

**ABSTRACT:** This article is based on the research called Evolution and Development of Religious Architecture in the Province of Veraguas, using the architectural and historiographical research compiled and analyzed on the San Juan de Dios Church, the first church in Santiago de Veraguas, and one of the first buildings of the Colonial era in the region. Elements such as its foundation, constructive evolution, materials, and origin are analyzed. This article is developed chronologically to further clarify the panorama of the study of this Church, which is an essential part of this city more than four hundred years ago.

**KEYWORDS:** San Juan de Dios, Santiago, Veraguas, church, colonial architecture

### 1.INTRODUCCIÓN

Todas las ciudades tienen edificaciones que son parte icónicas de su historia y desarrollo, que son o fueron parte importantes de lo que es, o fue su morfología urbana. Dentro de estas edificaciones, en la arquitectura colonial de los pueblos fundados por los primeros españoles que

vinieron a nuestro territorio, existen varias de estas infraestructuras que se repiten en la mayoría de las ciudades, como las iglesias o ermitas, cabildos y cárceles. Al inicio estas eran construidas con materiales más duraderos que el resto de las edificaciones como, residencias y otros. Los métodos constructivos y materiales utilizados por los

españoles han logrado que muchas de estas edificaciones lleguen hasta nuestros días, sobre todo después del Siglo XVII.

Este es el caso de la ciudad de Santiago de Veraguas, donde existió una edificación importante desde sus inicios y la cual ha quedado, prácticamente en el olvido. Esta se llamó Iglesia San Juan de Dios, y aunque ya no contamos con ella, su historia va de la mano con la ciudad.

El objetivo de esta investigación es rescatar la identidad de nuestro pueblo, a través de esta edificación, la cual resistió más de trescientos años en diferentes etapas constructivas, que describiremos en este trabajo.

Para poder llegar al desarrollo de la investigación, se realizó una búsqueda exhaustiva y profunda de las fuentes escritas, por ejemplo, el libro de Mario Molina describe en su libro titulado, “Veragua tierra de Colón y de Urracá”, que habla sobre la edificación y su análisis.

Esta edificación sufrió uno de los grandes problemas modernos que afectan las construcciones antiguas, que fue, la falta de conservación, la cual no es sólo un tema de la ciudad de Santiago de Veraguas, sino también de muchas ciudades en el mundo y el resultado es que hoy no contamos con dicha edificación en pie. Ha sido un producto negativo del proceso de deterioro acumulado desde su creación y por la influencia de proyectos que requerían nuevos usos, lo que provocó la pérdida de tan importante monumento.

## 2. METODOLOGÍA

Este artículo es el resultado de un trabajo de campo, análisis de fuentes bibliográficas existentes sobre el tema específico. se definieron metodología y las variables de estudio para realizar una caracterización histórica de la arquitectura religiosa en la Iglesia San Juan de Dios de la ciudad de Santiago provincia de Veraguas, sus inicios y desarrollo en el tiempo.

Utilizamos métodos tradicionales y de vanguardia como: Uso de aplicaciones informáticas como Evernote, Microsoft Office (Word, Excel), y herramientas en línea como buscadores de Google académico, Mendeley, Enago Open Access Journal Finder (Enago OAJF) y Elsevier Journal Finder (Elsevier JF), que permitieron automatizar los procesos de búsqueda y gestión bibliográfica, la revisión crítica de artículos de investigación, imágenes, fotografías y lecturas existentes y trabajo analítico con el estudio de los planos existentes de la edificación.

Las fuentes consultadas como los libros como los de Molina Castillo, M. J. (2013). Veragua: Tierra de Colón y de Urraca, el de Grout, L. N., Wang, D. (2010). Architectural Research Methods. (2a. ed.). y el de Osorio Osorio, A (2000). Historia eclesiástica de Panamá: 1815-1915, artículos de revistas científicas como el de Garré, F. (2001.) Patrimonio arquitectónico urbano, preservación y rescate: bases conceptuales e instrumentos de salvaguarda publicado

en la Revista Conserva N° 5, 2001. Estudio de Museología de Rosario, Argentina y Caballé, I. y el artículo de Esteve, F. (2003). Arquitectura y Documentación: arqueología de la vivienda en el Casco Antiguo de Barcelona. Publicado en la Revista Scripta Nova, 2003. España, que sirvieron para extraer información sobre la evolución, fundación, desarrollo y características de la Arquitectura de la Iglesia San Juan de Dios de Santiago de Veraguas y fotografías que apoyan la comprensión del documento. Utilizamos un patrón de análisis para los datos cuantitativos y cualitativos que demandó la integración de aspectos que provienen, en parte, de la extensa literatura disponible en el ámbito de la investigación y la estadística [1]. Otra parte proviene de la experiencia que acumulamos en el campo de trabajo y la frecuencia con que realiza este tipo de labor.

Como metodología analizamos el desarrollo histórico del edificio en concreto, ubicado en tiempo, espacio y condicionados por los diversos factores que caracterizan la sociedad y el contexto físico en el cual se insertan [2]. De esta forma, centrándonos en el contexto espacio-temporal donde se generó la obra, para determinar su significación cultural y su apreciación dentro de la cultura arquitectónica.

Dentro de los materiales y métodos, utilizaremos como base los implementados en el artículo científico “Evolución y desarrollo de la arquitectura en Santiago de Veraguas, desde el siglo XVI hasta el siglo XXI”, publicado en la Revista Invest. Pens. Crit. en abril de 2020, de nuestra autoría.[3]

## 3. RESULTADOS

El inicio de esta edificación se da con los inicios de la actual ciudad de **Santiago de Veraguas**, la cual el investigador Mario Molina describe en su libro “Veragua tierra de Colón y de Urracá”, tomo I, pagina 88, donde indica que se traslada la primera ciudad de Santiago la cual llama Santiago La Vieja (con ubicación desconocida) fundada en 1621 hacia la actual ciudad de Santiago, que él denomina Santiago La Nueva y define que el traslado se da entre 1636 y 1637. Es en 1637 cuando Molina indica que se construye el **primer Asilo y Hospital de la ciudad de Santiago de Veraguas**, denominado San Juan de Dios al igual que su primera Iglesia. Esta edificación fue construida utilizando materiales primitivos de paja y ramas, al lado de la iglesia San Juan de Dios, aunque también indica que se le denominó Iglesia de Santa Bárbara, por la devoción que se le daba a dicha virgen en la misma. Fue de las primeras construcciones en la ciudad de Santiago, de esta primera construcción no se tienen planos ni descripciones, solo algunos datos como su principal gestor el Lic. Martín Delgado y Llanos, cura vicario, el mismo que realizó la mayoría de las primeras edificaciones de la ciudad y que ayudó a realizar el trazado de las principales calles y plazas de Santiago y que es donde se forma el primer entramado de nuestra ciudad. Otro dato importante de la fecha lo indica Fray Adrián de Santo Tomás y Ufeldu en cura de San

Lorenzo, dominico, nacido en Lima, Perú (1598), indica que, realizó el diseño de la primera Iglesia, indica; “*empecé a hacer una capilla alta de madera de cedro y caobano con sus colaterales muy curiosos, unas sacristías altas, coro alto y bautisterio, pulpito, escaños, pila de bautismo, facistol, tumba, anda de muertos, ciriales, tiniebleros, todo de madera muy bien acabados; en cuanto a las imágenes, una imagen de bulto de San Lorenzo, los tres Reyes de bulto, una imagen de Nuestra Señora del Rosario de bulto y Santo Cristo de bulto, doseles, mantos para Nuestra Señora, estandartes y en fin*”. [4] pp. 337

La ciudad crece lentamente y su iglesia original funcionó hasta la primera mitad del **siglo XVIII**, pues ya para esa 1759, fecha se había destruido completamente, en esta fecha se realizan algunas mejoras en el Hospital antiguo, gracias a la llegada del Gobernador **Félix Francisco Bejarano**, pero es en 1763 cuando se inicia la reconstrucción de la nueva Iglesia y es levantado completamente el 14 de febrero de **1770**, cuando se reinaugura el **Hospital San Juan de Dios y la Iglesia con el mismo nombre o también llamada Santa Bárbara** frente a la **Plaza San Juan de Dios** antes de esa fecha llamada Plaza de Los Españoles, la cual se realiza en la misma posición del antiguo Hospital, con materiales más resistentes.[5] pp. 350.

Fue la primera construcción que utiliza un plano arquitectónico en la ciudad de Santiago, de la cual se tenga conocimiento, dicha planta tenía también varias secciones para la mejor comprensión de la obra, estaba a una escala de **100 varas** castellanas. Las dimensiones de este Hospital San Juan de Dios eran quince varas de largo y doce varas de ancho (12.50 metros x 10 metros). Las paredes construidas de barro con cubierta de tejas y hecho con madera muy ordinaria.[6] pp. 337



Ilustración 1. Hospital San Juan de Dios, pintura del Siglo XX. Tomado del libro Mario José Molina, Veragua: Tierra de Colón y Urracá.

Dentro del personal en el Hospital Nuevo existía un capellán para la asistencia a la Iglesia, culto del Señor Sacramentado y socorro de los enfermos, medico, cirujano, boticario y maestro de primeras letras. Adosada a esta Iglesia iba la

botica, seguida por las celdas de los enfermos en las cuales se podían atender de **8 a 10 pacientes**. Estas celdas se comunicaban por un gran patio interior donde se tenía una huerta con plantas medicinales, verduras y especias, paralelo al patio estaba la Iglesia y al lado opuesto la cocina, una celda y una sala profunda donde el prior orientaba a los curas a su vida religiosa.[7] pp. 350.

Su diseño constaba de una torre fachada de tres cuerpos de altura, sobre 4 arcos que formando portada a la Iglesia donde se elevaba en su frente espectacular y completándose con sus remates, cruz y arpon, la que le daba armonía a su proporción. El primer cuerpo de la Torre daba al interior al templo, donde se colocaba el coro en el aire con un funcional diseño y creativo. Los pisos eran pavimentados, sus ventanas se erigían simétricas en sus paredes gruesas, fueron trabajadas con base de piedra, arena y cal. Sus estructuras de adobes grandes cocidos de dos tercias de largo y una de ancho con seis de grueso, ladrillos, cal y piedra.[8] pp. 351

Descendiendo a su pavimento estaba un terraplén que hacía de atrio a la entrada, con gradas de piedra y columnas en sus ángulos y su piso de ladrillo con adornos de pila de piedra, escaño, pulpito y arañas doradas de hierro para su iluminación, formando un crucero **la Capilla Mayor**, que con gradas de piedras cortadas y molduras se elevaba el presbítero y un hermoso arco toral, cuyas cornisas y balastradas daban a apreciar el arte singular de los trabajos de esta Iglesia.[9] pp. 350.

El Templo conformado de tres naves y los techos sostenidos por gruesos pilares, soleras, cadenas, zapatas, trabajados en madera de cedros, caobas y de Nispero, los cielorrasos eran trabajados de tablazón con maderas selectas como cedros y caobas. Contaba con el Presbítero, sacristía, cuarto de alhajas de la Iglesia, torre, altares colaterales y con secciones subyacentes a la Iglesia como enfermería, capilla del cementerio y el Altar de dicha Capilla. El cementerio tenía capilla de Velación y su propio altar.[10] pp. 351

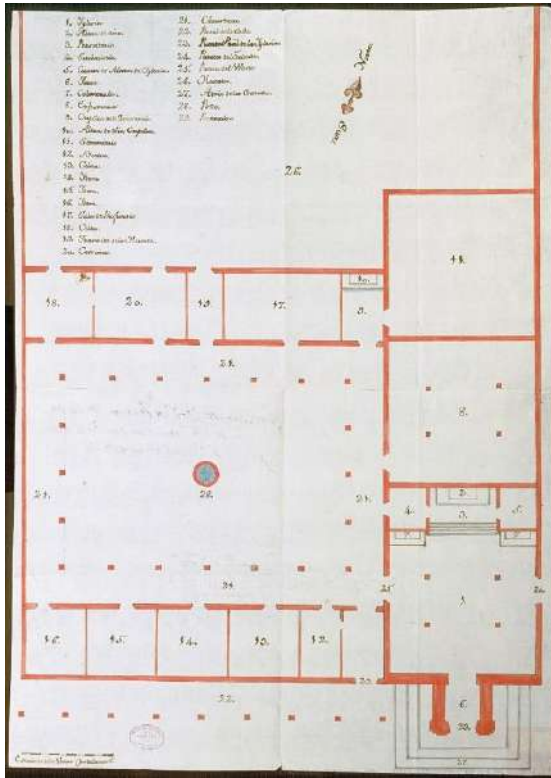


Ilustración 2. Plano del Hospital San Juan De Dios y la Iglesia San Juan de Dios o Santa Bárbara, inaugurados en 1770. Por primera vez se utiliza una planta arquitectónica para construir un proyecto en la ciudad de Santiago de Veragua. Siglo XVIII. Tomado del libro Mario José Molina, Veragua: Tierra de Colón y Urracá.

Su altar mayor y retablos colaterales, las imágenes y una custodia de plata de dos tercias de alto fueron excelentes obras maestras, elaboradas dentro de un diseño barroco con trabajos en calado, molduras, vueltas y dorados. El **Altar Mayor** se encontraba revestido con expresiones iconográficas y en este se levantaban desde el suelo dos portadas con gran belleza por donde estaban los refuerzos del retablo, 2 nichos se encontraban en sus tallados. En estas portadas estaba la Imagen de **San Juan de Dios** y en el otro la de **San Juan Nepomuceno**, levantado sobre hermosa columnas, cornisas y banquillo. En el segundo cuerpo y en su principal nicho la Imagen de la **Virgen Santa Bárbara**, titular y patrona de la dicha Iglesia. Sobre este nicho Un ovalo pintado donde estaba **La Santísima Trinidad** coronando a **María Santísima** y como adornos pirámides, tallas, jarrones y fruteros. [11] pp. 346

Como presencia de algunos elementos renacentistas estaban los fustes de las columnas representados por ángeles en la parte de los retablos. Dos portadas con relieves se levantaban en el presbitero que marcaban la entrada a dos sacristías iguales en cada portada un retablo con cornisas y banquillo que formaban un segundo cuerpo donde estaba un ángel sobre cada columna y los mismos mantenían un gran cuadro de la **Ascensión del Señor** y en frente la **Asunción de**

**Nuestra Señora** y a los lados de cada uno todos los apóstoles con sus respectivos adornos y remates. El retablo Mayor de la **Iglesia de Santa Bárbara** tienes dentro de sus decoraciones pirámides, tallados, jarrones, fruteros y una talla de una belleza excepcionalmente barroca de estos tiempos. [12] pp. 350

Existían también 2 retablos colaterales que se levantaban desde el suelo con iguales repisas guardando el mismo orden del **Altar Mayor** en toda su construcción, entre ellos no existía diferencia, levantándose hasta el techo y en su nicho principal una Imagen de **Cristo Crucificado** al pie de la **Cruz**, la **Virgen**, **San Juan** y **La Magdalena**. En el segundo cuerpo **Cristo** atado a la columna. En el otro retablo colateral la imagen de **Nuestra Señora de Dolores** y en su nicho superior la de un **Eccehomo**, con sus respectivos adornos y remates. [13] pp. 351

Su ornamentación puede ser enmarcada dentro de los criterios del barroco, aunque se ve una mezcla renacentista y del arte hispano musulmán, esto se debe a la participación de maestros, oficiales y carpinteros de lo blanco procedentes de Andalucía y otros de la ciudad Capital de **Panamá**.

Algunos elementos de pintura barroca dentro de este Templo fueron la **Imagen de Santa Bárbara**, el **arco Toral** pintado y dorado, y en el **Misterio de la Anunciación**. [14] pp. 337

Entre otras pinturas que se encontraban en la Iglesia de Santa Bárbara.

- Un ovalo donde estaba **La Santísima Trinidad** coronando a **María Santísima**.
- Un cuadro grande de la **Ascensión del Señor**.
- Un cuadro de la **Asunción de Nuestra Señora** y cada uno de los apóstoles con los correspondientes adornos y remates muy vistosos.

Algunos artículos religiosos que se encontraban en la **Iglesia Santa Bárbara** fueron unos vasos Sagrados de plata sobredoradas con detalles de serafines de una vara de alto. En la puerta de **El Sagrario** se encontraba un trono de ángeles con 7 cornucopias todo hecho de plata de martillo. [15] pp. 351.

Un dato curioso que Mario Molina nos narra en su libro, es que esta construcción no habría sido posible, al igual que otras en la ciudad de Santiago de Veraguas, sin la mano de obra de los esclavos traídos de África, muchos de los que trabajaban en las minas del Norte de Veraguas, al igual que los tallados de los altares realizados por los autóctonos Doraces y de san Francisco de la Montaña. [16] pp. 350

Entre 1776 y 1777 el **Comisionado General** de los franciscanos juzga necesario la fundación de un colegio de **Propaganda Fide** y considera preferible ubicarlo en la **Ciudad de Santiago de Veraguas** por poder lograrse la fundación la fundación con más brevedad y a menos costos

para la **Real Hacienda**. Propone instalarlo en el **Hospital de Santiago (San Juan de Dios)** al lado de la Iglesia con el mismo nombre) donde informa que faltan enfermos y el edificio se está deteriorando por la falta de uso. Este dato nos indica que desde finales de Siglo XVIII, ya la iglesia y el Hospital estaban deterioradas. [17] pp. 351



*Ilustración 3. Foto de la ciudad de Santiago de Veraguas de 1924, al fondo a mano derecha se observa la torre de la Iglesia San Juan de Dios. foto anónima. Proporcionada por la Familia Torraza.*

En 1803 se reconstruye el templo parroquial, actual Catedral Santiago Apóstol, lo cual nos indica que se estaba utilizando las dos iglesias, este año se repara el techo de la sacristía, el pulpito, el coro y algunos laterales, también se colocaron nuevos ornamentos muy decentes y otros adornos para el templo. Durante el Siglo XIX se dan varios cambios en la ciudad de Santiago con la unión a Colombia, para 1862 se da una revolución en Santiago de Veraguas con el traslado de la capital del Istmo de Panamá a la ciudad de Santiago, por el Gobernador Santiago de la Guardia Arrué, (1 de Julio de 1862). [18] Esta decisión termina en un desenlace fatal para Arrué en la batalla de Capellania y con represalias del gobierno colombiano contra los veragüenses que apoyaron la decisión, esto incluye el cierre de las iglesias. Para 1864 se indica en una de sus cartas Jenny White del Bal, una norteamericana casada con el santiaguense, Santiago del Bal y traducidas por el Dr. Stanley Heckadon, donde describe la ruina de la iglesia y que indica que no hay ni se permite realizar misas en la región por orden del gobierno.

En 1894 se define la geografía parroquial y se inicia la reconstrucción de la Iglesia Santiago Apóstol, se signa como patrón Santiago Apóstol, se coloca en la hornacina en lo alto de la fachada de la Iglesia, la imagen del Apóstol Santiago (imagen que no existe actualmente). Y con esto se cambia el uso de la Iglesia, ya en ruinas.

Para inicio de **Siglo XX**, todavía contábamos con el **Hospital San Juan De Dios**, en la posición que había estado desde el **siglo XVII**, frente a la **Placita San Juan de Dios**, desde luego después de varias reconstrucciones que se habían hecho hasta la fecha, para esta época según el escritor **Reginaldo Macías**, era un inmueble urgido de comodidades.

Para esta fecha, este mismo inmueble albergaba “**El Asilo de Ancianos**”. La Iglesia se mantenía en ruinas y la que había pasado a ser la Iglesia principal de la ciudad es la actual Iglesia Santiago Apóstol, desde el Siglo XIX.



*Ilustración 4. Fotografía de la Iglesia de San Juan De Dios, frente a la Placita del mismo nombre, demolida en 1938. Foto tomada del libro de Molina Castillo, Mario José. Veragua: Tierra de Colon y de Urraca Tomo I Y II.*

Para **1932** se construyó el **Hospital Regional de Veraguas**, luego llamado **Hospital “Luis” Chicho Fábrega**, al final de la calle segunda, quedando en el olvido y lejos del recuerdo aquel primer Hospital de la ciudad de Santiago construido por los primeros fundadores de la misma.

Para **1938** se demolió la Iglesia **San Juan De Dios**, para construir el internado de varones de la **Escuela Normal Juan Demóstenes Arosemena**, pero se deja en pie las instalaciones donde se desarrollaban las instalaciones del Hospital, la cual se mantiene en uso hasta la construcción de la cooperativa Juan XXIII y a partir de la fecha (1938) se ubican en la posición del Hospital, las oficinas de **Correos y Telégrafos**, que se mantiene aquí hasta **1949**.

La demolición de la Iglesia se dio ante la oposición de la ciudadanía de Santiago, se cuenta que una delegación de santiagueños fue a la presidencia a pedir formalmente el cese de la demolición al presidente Juan Demóstenes Arosemena, el cual quedó de acuerdo con la ciudadanía de no tumbar la iglesia, pero por lo difícil de la comunicación entre Santiago y Panamá en estas épocas, la cual era una travesía primero por mar hasta Aguadulce y luego por tierra en caminos difíciles, al regresar la delegación con las órdenes del presidente Arosemena, ya la Iglesia estaba en el suelo. Mucho de estos ladrillos coloniales fueron utilizado en la construcción de varias casas de la actual Santiago que aún se

mantienen en pie. Hoy día ubicada en donde hoy se encuentra la Cooperativa Juan XXIII y la actual Biblioteca Pública.



Ilustración 5., Placita San Juan de Dios, Santiago de Veraguas al fondo la iglesia del mismo nombre (antes de 1938). Esa calle en la época colonial se conoció como Calle de los Artesanos pues se dirigía a la parte posterior dónde quedaba la plazoleta de San Antonio ( hoy desaparecida). Foto de los archivos de Florida University.

**4.CONCLUSIONES:** Son necesarias las investigaciones sobre el pasado de la ciudad de Santiago y sus edificaciones, como parte del estudio y análisis de la Arquitectura Religiosa en la Provincia de Veraguas, específicamente la Iglesia San Juan de Dios. Este edificio ha sido poco estudiado, desde el punto de vista arquitectónico, en este artículo se ha logrado hacerlo de manera descriptiva, el sistema constructivo de cada edificación, para poder comprender su evolución desde el punto de vista técnico.

A la vez se crea una documentación que pueda ser implementada en futuras investigaciones y que también sea motivo de consulta para estudiantes y la sociedad general, base muy necesaria y que puede ser de mucha utilidad y completar los vacíos existentes en la historiografía arquitectónica local. El valor cultural, espiritual y religioso que tiene esta edificación, da un valor incalculable a los resultados de esta investigación y sirve para resaltar la identidad de esta región y a la vez hacer énfasis en la importancia de conservar sus monumentos históricos y su patrimonio cultural de todos los tiempos.

**AGRADECIMIENTO:** Este estudio es basado en el proyecto de investigación denominado “Evolución y Desarrollo de la Arquitectura Religiosa en la Provincia de Veraguas”, financiado por la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA LA ANTIGUA, Código de Investigador (RUI) SRUI-INVR-129 y Código de proyecto (RUI) SRUI-CPEI-ID-2018-2019-000, Convocatoria para Proyectos de I+D 2018-2019.

Mi más agradecimiento al equipo de investigación de la USMA, VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN, Dirección de Investigación y Desarrollo, por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Grout, L. N., Wang, D. (2010). *Architectural Research Methods*. (2a. ed.). publicado por John Wiley and Sons, Inc., Hoboken New Jersey.
- [2] Puente San Millán, Elidar (2014). Arquitectura Art Decó en el Centro Histórico de la ciudad de Santiago de Cuba. *Revista Arquitectura y Urbanismo* vol.35 no.1 La Habana ene.-abr. 2014
- [3] Aguilar M. Sebastian, (2020). “*Evolución y desarrollo de la arquitectura en Santiago de Veraguas, desde el siglo XVI hasta el siglo XXI*”, publicado en la Revista Invest. Pens. Crit. en abril de 2020. Universidad Santamaría La Antigua, Panamá.
- [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17] Molina Castillo, M. J. (2013). *Veragua: Tierra de Colón y de Urraca*. Tomo 1. Panamá: Arte Gráfico, Impresores. Panamá. pp. 337-351
- [18] Susto, Juan Antonio. (1962) En el centenario de la Muerte de Don Santiago De La Guardia Arrué. *Revista Lotería*. 1962.
- [19] Macías, Reginaldo (1986). *Recuerdos de Antaño en mi pueblo natal Santiago de Veraguas*. Diciembre, Panamá.