



**Impacto de los sistemas de información en la gestión de recursos y en el  
mantenimiento de edificios sostenibles**

Edith Moreno Moreno

Pilar Andrea Alonso Otálora

Carolay Gómez Velásquez

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Proyectos

Bogotá, Colombia

27/septiembre/2025

**Impacto de los sistemas de información en la gestión de recursos y en el  
mantenimiento de edificios sostenibles**

**Edith Moreno Moreno**

**Pilar Andrea Alonso Otálora**

**Carolay Gómez Velásquez**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Magister en Gerencia de Proyectos**

**Maestría en Gerencia de Sistemas de Información y Proyectos Tecnológicos**

Director (a):

Milton Januario Rueda Varón

Modalidad:

**Monografía**

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Proyectos

Maestría en Gerencia de Sistemas de Información y Proyectos Tecnológicos

Bogotá, Colombia

27/septiembre/2025

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá, 27/sep/2025

### Dedicatoria y frase

#### Dedicatoria:

A quienes creen en construir un futuro más sostenible desde la tecnología, la disciplina y la responsabilidad con el entorno. Esta tesis es un reflejo de ese compromiso.

#### Frase:

“La tierra no es una herencia de nuestros padres, sino un préstamo de nuestros hijos.”

Antoine de Saint-Exupéry.



## Resumen

La presente investigación tiene como su principal objetivo, evaluar el impacto de los sistemas de información en la gestión de recursos y el mantenimiento de edificios sostenibles, con énfasis en aquellos que implementan prácticas sostenibles y cuentan con certificación LEED. El propósito es optimizar el uso de los recursos naturales y prolongar la vida útil de estas edificaciones. En el área de la construcción, las tecnologías avanzadas como sistemas de gestión de edificios (BMS) y el Internet de las Cosas (IoT) juegan un papel fundamental en la mejora de la eficiencia operativa y la reducción del impacto ambiental. Sin embargo, como en toda implementación de nuevas tecnologías se enfrentan obstáculos como los costos iniciales y la falta de capacitación adecuada. Esta investigación se centra en identificar las oportunidades y desafíos vinculados a la implementación de estos sistemas, particularmente en el contexto colombiano, donde el sector de la construcción está dando pasos hacia un modelo más sostenible. La pregunta central que guía este estudio es cómo los sistemas de información pueden optimizar la gestión de recursos y el mantenimiento de edificios sostenibles, y cuáles son las barreras que dificultan su adopción efectiva. Mediante una revisión bibliográfica y un análisis detallado de la situación actual, se busca ofrecer recomendaciones prácticas para la integración de estas tecnologías en el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones sostenibles.

Los resultados del estudio indican que los sistemas de información, como los sistemas de gestión de edificios (BMS) y el Internet de las Cosas (IoT), han tenido un efecto significativo en la eficiencia de la gestión de recursos en edificaciones sostenibles. En los casos analizados, se evidenció una mejora operativa de hasta un 33 % gracias al monitoreo en tiempo real, la automatización de sistemas de climatización e iluminación y la detección temprana de consumos anómalos.

## IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN LA GESTIÓN DE RECURSOS Y EN EL MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS SOSTENIBLES

Asimismo, se comprobó que estos sistemas contribuyen a prolongar la vida útil de los edificios mediante la planificación de mantenimiento predictivo, la gestión de alertas y la trazabilidad de los equipos, lo que ha permitido una reducción aproximada del 30 % en los costos asociados al mantenimiento correctivo.

A pesar de estos beneficios, persisten desafíos significativos. Entre ellos destacan los altos costos iniciales de implementación, la resistencia al cambio dentro de las organizaciones y la fragmentación de datos entre plataformas no interoperables. Sin embargo, también se identificaron importantes oportunidades, como el acceso a mecanismos de financiamiento verde, el avance en tecnologías abiertas e integrables y el creciente interés del sector en fortalecer su desempeño ambiental, social y de gobernanza (ESG).

Finalmente, se destacaron algunas buenas prácticas observadas en los casos estudiados, como la formación continua del personal técnico, el establecimiento de alianzas estratégicas con universidades y proveedores tecnológicos, la implementación de plataformas centralizadas basadas en BIM e IoT, y el desarrollo de pilotos progresivos para validar nuevas soluciones antes de su aplicación a gran escala.

## **Abstract**

This study analyzes the impact of information systems on resource management and maintenance of sustainable buildings, particularly those with LEED certification. Its objective is to optimize the use of natural resources and extend the lifespan of buildings through technologies such as Building Management Systems (BMS) and the Internet of Things (IoT). While these tools enhance operational efficiency and reduce environmental impact, their adoption faces challenges such as high initial costs and lack of proper training.

The research focuses on the Colombian context, where the construction sector is moving toward more sustainable models. Through a literature review and case analysis, both benefits and challenges were identified. Among the benefits is an operational improvement of up to 33%, thanks to real-time monitoring, system automation, and early detection of abnormal consumption. Additionally, a 30% reduction in maintenance costs was achieved through practices such as predictive maintenance and equipment traceability.

However, obstacles such as resistance to change and data fragmentation across non-interoperable platforms persist. Still, opportunities were identified, including access to green financing, the advancement of open and integrable technologies, and growing interest in improving environmental, social, and governance (ESG) performance. Best practices highlighted in the study include continuous technical staff training, strategic partnerships with universities and technology providers, the use of integrated platforms (BIM and IoT), and the development of pilot projects to test new solutions before large-scale implementation.

## Contenido

<b>1.</b>	<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>13</b>
<b>2.</b>	<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>14</b>
<b>3.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>16</b>
<b>4.</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>18</b>
4.1.	<i>Objetivo General .....</i>	<i>18</i>
4.2.	<i>Objetivos Específicos: .....</i>	<i>18</i>
<b>5.</b>	<b>Justificación .....</b>	<b>19</b>
<b>6.</b>	<b>Marco Teórico .....</b>	<b>21</b>
6.1.	<i>Software de Gestión de Edificios .....</i>	<i>22</i>
6.2.	<i>Sistema de administración de edificios – BMS .....</i>	<i>23</i>
6.3.	<i>Automática .....</i>	<i>24</i>
6.4.	<i>Gestión eficiente de recursos .....</i>	<i>24</i>
6.5.	<i>Sostenibilidad .....</i>	<i>28</i>
6.6.	<i>Construcción Sostenible .....</i>	<i>29</i>
6.7.	<i>Construcción Sostenible y Sostenibilidad a nivel Nacional .....</i>	<i>35</i>
6.8.	<i>Construcción Sostenible y Sostenibilidad a nivel Local (Bogotá) .....</i>	<i>36</i>
6.9.	<i>Materiales sostenibles .....</i>	<i>38</i>
6.10.	<i>Mantenimiento .....</i>	<i>40</i>
6.11.	<i>Confort .....</i>	<i>41</i>
6.12.	<i>Certificación LEED .....</i>	<i>43</i>

IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN LA GESTIÓN DE RECURSOS Y EN EL  
MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS SOSTENIBLES

<b>7.</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>45</b>
<b>8.</b>	<b>Variables.....</b>	<b>46</b>
8.1.	<i>Durabilidad del Proyecto.....</i>	<i>49</i>
8.2.	<i>Costos Operativos .....</i>	<i>49</i>
<b>9.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>52</b>
9.1.	<i>Población y Muestra .....</i>	<i>53</i>
9.2.	<i>Tamaño de la Muestra.....</i>	<i>55</i>
9.3.	<i>Validación del Instrumento .....</i>	<i>59</i>
9.4.	<i>Metodología aplicada para el objetivo específico No. 1 .....</i>	<i>62</i>
9.5.	<i>Metodología aplicada para el objetivo específico No. 2 .....</i>	<i>67</i>
9.6.	<i>Metodología aplicada para el objetivo específico No. 3 .....</i>	<i>69</i>
9.7.	<i>Metodología aplicada para el objetivo específico No. 4 .....</i>	<i>70</i>
<b>10.</b>	<b>Técnicas para el análisis de la información .....</b>	<b>71</b>
10.1.	<i>Validación de los resultados .....</i>	<i>73</i>
<b>11.</b>	<b>Desarrollo y cumplimiento de objetivos .....</b>	<b>74</b>
11.1.	<i>Desarrollo objetivo 1. Analizar cómo los sistemas de información actuales contribuyen a la gestión eficiente de los recursos en edificios sostenibles. ....</i>	<i>74</i>
11.1.1.	<i>Resultados Obtenidos Objetivo 1 .....</i>	<i>84</i>
11.1.2.	<i>Análisis de software existentes.....</i>	<i>84</i>
11.1.3.	<i>Análisis y clasificación sistemas de información .....</i>	<i>90</i>
11.2.	<i>Desarrollo Objetivo 2. Evaluar el impacto de la integración de sistemas de información en la prolongación de la vida útil de los edificios sostenibles .....</i>	<i>100</i>

IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN LA GESTIÓN DE RECURSOS Y EN EL  
MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS SOSTENIBLES

11.2.1.	Edificio corporativo Amarilo .....	104
11.2.2.	Centro Comercial El Edén .....	109
11.2.3.	Edificio Ean Legacy (Certificación LEED Oro) .....	114
11.2.4.	Colegio Rochester .....	115
11.2.5.	Edificio Novartis .....	120
11.2.6.	Conclusiones análisis de las edificaciones .....	125
11.2.7.	Resultados obtenidos objetivo 2 .....	129
11.2.8.	Análisis cuantitativo de los resultados.....	129
11.2.9.	Análisis Multivariado .....	138
11.3.	<i>Desarrollo Objetivo 3. Examinar los desafíos y oportunidades en la adopción de sistemas de información para la gestión de recursos y mantenimiento en edificios sostenibles. ....</i>	<i>142</i>
11.3.1.	Oportunidades .....	143
11.3.2.	Desafíos: .....	145
11.3.3.	Oportunidades .....	147
11.3.4.	Desafíos.....	148
11.3.5.	Identificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles.....	151
11.3.6.	Resultados obtenidos objetivo 3 .....	152
11.3.7.	Análisis Multivariado .....	152
11.3.8.	Desafíos identificados en las entrevistas: .....	159
11.3.9.	Oportunidades identificadas en las entrevistas:.....	160
11.4.	<i>Desarrollo Objetivo 4. Identificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles. ....</i>	<i>160</i>
11.4.1.	Resultados obtenidos objetivo 4 .....	161
11.4.2.	Mejores prácticas extraídas de las entrevistas:.....	162
11.4.3.	Estrategias Clave para el Desarrollo de Edificios Sostenibles .....	164

IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN LA GESTIÓN DE RECURSOS Y EN EL  
MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS SOSTENIBLES

<b>12.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>169</b>
<b>13.</b>	<b>Contribuciones .....</b>	<b>171</b>
<b>14.</b>	<b>Conclusiones y Trabajo Futuro .....</b>	<b>173</b>
<b>15.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>175</b>

## 1. Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema metodología.....	62
<b>Figura 2.</b> Análisis a nivel global de los lideres en producción académica y científica..	75
<b>Figura 3.</b> Documentos científicos publicados por países o territorios.....	76
<b>Figura 4.</b> Análisis en las áreas de conocimiento .....	78
<b>Figura 5.</b> Análisis de diagrama de clúster con respecto a los países con mayor implementación de la sostenibilidad influyendo su investigación....	81
<b>Figura 6.</b> Análisis a partir de diagrama clúster abordando el desarrollo sostenible ....	83
<b>Figura 7.</b> Análisis de resultados aplicaciones.....	95
<b>Figura 8.</b> Comparación de aplicaciones en sostenibilidad.....	97
<b>Figura 9.</b> Contribución de variables a los componentes principales (PCA) .....	139
<b>Figura 10.</b> Representación de individuos en el Análisis de Componentes Principales (PCA) .....	140
<b>Figura 11.</b> Representación de variables sobre el plano factorial (PCA) .....	156
<b>Figura 12.</b> Distribución de individuos sobre los dos primeros componentes principales (PCA) .....	157
<b>Figura 13.</b> Frecuencia relativa de desafíos vs oportunidades .....	164
<b>Figura 14.</b> Peso relativo de desafíos vs oportunidades.....	166

## 2. Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Criterios de sostenibilidad en la construcción.</i> .....	31
<b>Tabla 2.</b> Normativas y Políticas más relevantes aplicadas a la Construcción Sostenible..	33
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de variable confort del usuario.....	47
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de variable durabilidad del proyecto.....	49
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de variable costos operativos. ....	50
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de variable automatización de procesos.....	50
<b>Tabla 7.</b> Cálculos para definir tamaño de la muestra para encuestas para usuarios...	57
<b>Tabla 8.</b> coeficiente Alfa de Cronbach de 0.89 (raw_alpha) y un Alfa de Cronbach estandarizado de 0.90 (std.alpha).....	59
<b>Tabla 9.</b> Análisis de confiabilidad ítem por ítem mediante Alfa de Cronbach.....	61
<b>Tabla 10.</b> Ficha de caracterización para el objetivo No 1 entrevistas .....	66
<b>Tabla 11.</b> Ficha de caracterización para el objetivo No 1 Encuestas.....	67
<b>Tabla 12.</b> <i>Ficha de identificaciones de aplicaciones implementadas en el área de la gestión de edificaciones sostenibles.</i> .....	85
<b>Tabla 13.</b> <i>Tabla de clasificación de acuerdo con las características de las aplicaciones.</i> ....	91
<b>Tabla 14.</b> <i>Tabla de clasificación de acuerdo a la implementación en el tamaño de las empresas.</i> .....	92
<b>Tabla 15.</b> <i>Tabla de clasificación de acuerdo con las características de las con respecto a factibilidad, costo beneficio, automatización.</i> .....	94
<b>Tabla 16.</b> <i>Tabla de Frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Planta física</i> .....	130

<b>Tabla 17.</b> <i>Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Mantenimiento"</i>	132
<b>Tabla 18.</b> <i>Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Averías" ..</i>	133
<b>Tabla 19.</b> <i>Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Manejo de desechos"</i>	135
<b>Tabla 20.</b> <i>Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Concepto de sostenibilidad"</i>	136
<b>Tabla 21.</b> <i>Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Edificación sostenible"</i>	137
<b>Tabla 22.</b> <i>Tabla Dimensiones de impacto de los sistemas de información en la vida útil de edificaciones sostenibles"</i>	141
<b>Tabla 23.</b> <i>Tabla Contribución y calidad de representación de variables en el análisis factorial</i>	153
<b>Tabla 24.</b> <i>Calidad de representación (<math>\cos^2</math>) y contribución (ctr) de variables en la Dimensión 2 del análisis factorial ..</i>	154
<b>Tabla 25.</b> <i>Contribución de variables seleccionadas a la Dimensión 3 del análisis factorial</i>	155
<b>Tabla 26.</b> <i>Desafíos y oportunidades en la implementación de sistemas de información en edificaciones sostenibles</i>	158
<b>Tabla 27.</b> <i>Mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles</i>	161
<b>Tabla 28.</b> <i>Identificación de desafíos e impactos</i>	167

### 3. Introducción

En los últimos años, la sostenibilidad en el sector de la construcción ha cobrado una importancia central, pues se reconoce que los edificios representan un porcentaje significativo del consumo energético y de la generación de emisiones contaminantes a nivel global (García & López, 2021). A pesar de los avances en diseño y en la incorporación de prácticas sostenibles, los procesos de mantenimiento y gestión de recursos continúan siendo un desafío, especialmente en contextos latinoamericanos donde los recursos técnicos y financieros suelen ser limitados (Martínez, 2020). En este escenario, los sistemas de información, como los Building Management Systems (BMS) y las soluciones basadas en Internet de las Cosas (IoT), se presentan como herramientas clave para enfrentar los retos de la eficiencia y la sostenibilidad (Pérez et al., 2022).

Sin embargo, la adopción de estas tecnologías no ha estado exenta de dificultades. La literatura especializada reporta limitaciones como la falta de capacitación técnica, los elevados costos iniciales de implementación y la resistencia a modificar los métodos tradicionales de mantenimiento, lo que limita su uso generalizado en edificaciones (Rodríguez & Sánchez, 2019). Esta situación genera que problemas como el consumo excesivo de energía, la ineficiente gestión de residuos y el deterioro prematuro de los edificios sigan presentes en la práctica cotidiana (Fernández, 2021).

En este contexto, la presente investigación se orienta a responder la siguiente pregunta: *¿cuál es la importancia de la implementación de los sistemas de información en la gestión de recursos y el mantenimiento de los edificios sostenibles como herramienta para garantizar su durabilidad en el tiempo?*

El objetivo general de esta investigación es analizar el impacto que tienen los sistemas de información en la gestión de recursos y el mantenimiento de edificios sostenibles, con el fin de proponer lineamientos que permitan optimizar procesos, prolongar la vida útil de las

infraestructuras y fortalecer la sostenibilidad en el sector de la construcción, particularmente en el contexto colombiano (Ministerio de Vivienda, 2023).

El presente trabajo se estructura de la siguiente manera: en el primer apartado se exponen los objetivos de la investigación; en el segundo, el marco teórico, en el cual se presenta información relacionada con el software de gestión de edificios sostenibles, la gestión de recursos y las principales definiciones asociadas a la construcción sostenible, el mantenimiento y la certificación LEED, así como el planteamiento de la hipótesis y sus variables. Posteriormente, se describe la metodología y las técnicas empleadas para el análisis de los resultados, seguida del desarrollo y cumplimiento de los objetivos propuestos. Finalmente, se incluyen las discusiones, conclusiones y aportes derivados del estudio.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo General**

Evaluar el impacto de los sistemas de información en la gestión de recursos y en el mantenimiento de edificios sostenibles.

### **4.2. Objetivos Específicos:**

- Analizar cómo los sistemas de información actuales contribuyen a la gestión eficiente de los recursos en edificios sostenibles.
- Evaluar el impacto de la integración de sistemas de información en la prolongación de la vida útil de los edificios sostenibles.
- Examinar los desafíos y oportunidades en la adopción de sistemas de información para la gestión de recursos y en el mantenimiento en edificios sostenibles.
- Identificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles.

## 5. Justificación

La conservación del medio ambiente es indudablemente un desafío crucial para diversas industrias, sectores como el de la construcción y mantenimiento de edificios no es la excepción. Este tipo de sectores está representando hoy día, una parte significativa del consumo energético global y es responsable de generar grandes cantidades de residuos. En respuesta, se están adoptando y desarrollando prácticas más sostenibles, implementando estrategias que no solo buscan mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos, sino también reducir el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida completo de las edificaciones. Esto abarca desde el diseño y la construcción hasta el mantenimiento y la renovación, con un enfoque en optimizar el uso de materiales, minimizar los residuos y fomentar la reutilización y el reciclaje (Europea, 2020).

Los avances tecnológicos, como en muchas áreas, está transformado la forma en que se gestionan los edificios de manera sostenible, gracias a herramientas como los sistemas de gestión de edificios (*Building Management System (BMS)*), el Internet de las Cosas (Internet of Things (IoT)) y sistemas de información avanzados. Estas tecnologías permiten recopilar, analizar y gestionar datos, facilitando el monitoreo en tiempo real de los recursos, supervisando el consumo y planificando el mantenimiento predictivo. De este modo, no solo se optimiza la eficiencia operativa, sino que también se prolonga la vida útil de las edificaciones y se reduce la necesidad de reparaciones imprevistas y costos (Mickaeal, 2023).

Las políticas públicas colombianas también han jugado un rol importante en la promoción de prácticas más sostenibles. El documento “Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023), desarrollado por el Ministerio de Ambiente en el marco de la Política de Gestión Ambiental Urbana, ofrece un conjunto de propuestas preventivas enfocadas

en el uso racional de los recursos naturales renovables, la sustitución por sistemas y recursos alternativos, y la gestión del impacto ambiental. Estas directrices proporcionan un marco valioso para la presente investigación, que busca evaluar la importancia de los sistemas de información en la gestión de recursos y el mantenimiento de edificios sostenibles. Al adoptar un enfoque basado en la tecnología y alineado con estas políticas ambientales, se busca no solo optimizar el uso de los recursos, sino también contribuir a minimizar el impacto ambiental en cada una de las fases del ciclo de vida de las edificaciones sostenibles.

En Colombia, está emergiendo un cambio en la concepción de las construcciones, ya no se trata únicamente de edificar estructuras que aumenten la huella de carbono, gestionen inadecuadamente los residuos o consuman de manera descontrolada recursos indispensables como la energía y el agua. La ingeniería y la arquitectura en el país están adoptando enfoques que priorizan materiales sostenibles, reciclados y renovables, así como el diseño de edificios que aumenten de manera sustancial el uso de la luz natural y promuevan el ahorro de recursos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023). Para garantizar la eficiencia y la sostenibilidad de estas construcciones a largo plazo, es imprescindible una gestión adecuada, lo que resalta la necesidad de herramientas tecnológicas que optimicen dicho proceso (Hospitecnia, 2017).

## 6. Marco Teórico

Es una realidad que vivimos una creciente preocupación por el impacto ambiental de las actividades de los seres humanos, lo cual ha impulsado la aplicación de prácticas sostenibles en una amplia gama de sectores, siendo la construcción uno de los más relevantes. En este contexto, los edificios sostenibles están aportando de forma fundamental en la mitigación de los efectos del cambio climático, optimizando el uso de recursos, reduciendo emisiones y promoviendo el bienestar de sus ocupantes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

Sin embargo, la gestión eficiente de estos edificios requiere de soluciones tecnológicas avanzadas que permitan integrar de manera efectiva los distintos sistemas y procesos involucrados en su operación diaria.

La implementación de *software* especializado en la gestión de edificios sostenibles ha emergido como una herramienta clave para maximizar los beneficios ambientales y económicos de estas construcciones. Estas plataformas tecnológicas facilitan el monitoreo, control y optimización de aspectos críticos como el consumo energético, la gestión de recursos hídricos, la calidad del aire y la gestión de residuos, permitiendo una toma de decisiones informada y basada en datos (Hospitecnia, 2017).

El presente marco teórico explora los conceptos fundamentales que subyacen a la integración de *software* en la gestión de edificios sostenibles. Se abordarán las definiciones y enfoques relacionados con materiales sostenibles, sostenibilidad en la edificación, confort, y los beneficios de la implementación de *software* para la gestión de edificios sostenibles y su impacto en la eficiencia operativa de este tipo de edificaciones, proporcionando una base conceptual sólida para comprender cómo estas herramientas pueden ser implementadas de manera efectiva en diferentes contextos constructivos.

### 6.1. Software de Gestión de Edificios

Se enfoca exclusivamente en la capa digital, es decir, es un componente que puede ejecutarse tanto dentro de un BMS como en una plataforma de hardware independiente. Su función es configurar, supervisar y gestionar los datos y procesos relacionados con el funcionamiento del edificio (Cuerva, 2024).

#### **Software de administración de edificios sostenibles:**

Energy Elephant, *software* de administración de sostenibilidad y RSC que permite a las empresas a supervisar su impacto ambiental haciendo un seguimiento de sus emisiones de gases de efecto invernadero y gestionando la huella de carbono. Además, ofrece una aplicación móvil de lectura de contadores para iOS y Android. Esta permite a los usuarios tomar lecturas y crear facturas para contadores de electricidad y gas (Energyelephant, s.f.).

FAMA SOStenible, *software* en modalidad Cloud/SaaS (*Software as a Service*), orientada a dar respuesta integral a las diferentes necesidades de sostenibilidad de las organizaciones al automatizar y gestionar de forma centralizada e integrada todos los aspectos relativos al ámbito de la sostenibilidad.

Plataforma única, modular e integrada:

- Gestión integral de edificios y obras
- Gestión integral de espacios e instalaciones
- Gestión integral del mantenimiento y servicios generales
- Gestión integral de la sostenibilidad
- Coordinación de actividades comerciales (Fama-systems.com, s.f.)

Futureproof, *software* de sostenibilidad basado en la nube, permite a las empresas obtener certificaciones, reducir las emisiones de carbono y crear informes de ESG. Contribuye al proceso para obtener certificaciones, como B Corp, alcanzar las cero

emisiones netas (a través de SBTi) e informa las emisiones de carbono desde una plataforma unificada.

Futureproof facilita a las empresas a medir, mejorar e informar el rendimiento de ESG, implementar nuevas iniciativas para apoyar a las personas y al planeta y publicar informes de ESG, sostenibilidad e impacto (Futureproofed.com, 2024).

La integración de *software* en la gestión de edificios sostenibles no solo es esencial para garantizar el cumplimiento de normativas vigentes, sino que también actúa como un catalizador para mejorar la eficiencia operativa y reducir la huella ecológica. Estas soluciones permiten monitorear en tiempo real parámetros clave como el consumo energético, el uso de agua, las emisiones de gases de efecto invernadero y generar informes detallados que facilitan la toma de decisiones informadas sobre la gestión y mantenimiento del edificio.

## **6.2. Sistema de administración de edificios – BMS**

Un BMS (*Building Management System*) es una infraestructura tanto física como digital, compuesta por hardware, dispositivos, sensores y aplicaciones informáticas. Este ecosistema controla y monitorea diversos sistemas y mecanismos dentro de la edificación. Actúa como una plataforma centralizada que automatiza la supervisión y el control de aspectos esenciales, como la climatización, iluminación, seguridad y gestión energética.

Los BMS optimizan la eficiencia operativa de los edificios y mejoran el confort de sus ocupantes. Al recopilar datos en tiempo real, realizar análisis y ajustar configuraciones según las necesidades, permiten obtener ahorros significativos en energía y costos operativos, al tiempo que refuerzan la seguridad y el bienestar.

Además, estos sistemas facilitan una toma de decisiones informada para la gestión y el mantenimiento del edificio, contribuyendo a un funcionamiento más eficiente y sostenible a lo largo del tiempo (Cuerva, 2024).

### **6.3. Automática**

Se define como la Ciencia y Técnica de la Automatización, la cual es un conjunto de disciplinas tanto teóricas y tecnológicas que intervienen en la construcción de los sistemas automáticos.

El funcionamiento de los sistemas automáticos se fundamenta en la validación de la información de mando, que describe el programa, con la información de estado, estas acciones de mando modifican el estado, todo esto en un bucle cerrado que actúa como un centro de operaciones de mando y control (Moreno, 1999).

### **6.4. Gestión eficiente de recursos**

Administrar eficientemente los recursos, incluidos el personal, los materiales y el equipo, es esencial para mantener el proyecto en curso y dentro del presupuesto. Esto implica asignar recursos de manera óptima, minimizar los desperdicios y evitar la duplicación de esfuerzos. (Orbesan, 2024).

La gestión eficiente de los recursos garantiza su uso óptimo, facilitando que las organizaciones cumplan sus objetivos con mínimos retrasos y costos adicionales. Un seguimiento preciso permite controlar su disponibilidad en tiempo real y detectar posibles inconvenientes con anticipación. Esto favorece la implementación oportuna de medidas correctivas, evitando excesos costosos y optimizando el desempeño operativo (Civalgo, 2024). Construcción Sostenible y Sostenibilidad a nivel Internacional:

La construcción sostenible es un objetivo clave dentro de los esfuerzos internacionales a favor de mitigar el cambio climático en el planeta, reduciendo el

consumo de recursos naturales y promoviendo el bienestar de la población a través de edificaciones eficientes y ambientalmente responsables.

### **Tendencias Globales en la Construcción Sostenible:**

A nivel mundial, la construcción sostenible ha experimentado un crecimiento significativo debido al aumento de la conciencia sobre los impactos del cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de carbono. El concepto de edificios verdes se ha popularizado, impulsado por certificaciones internacionales como LEED, BREEAM y WELL, que establecen estándares globales para la eficiencia energética, el uso de materiales ecológicos y la calidad ambiental de los edificios (BBVA, 2024).

Entre las principales tendencias globales en la construcción sostenible se destacan:

- **Diseño pasivo:** Minimizar el consumo energético de los edificios a través de su orientación, ventilación natural y optimización del uso de la luz solar.
- **Tecnologías de eficiencia energética:** Integración de sistemas como paneles solares, bombas de calor y sistemas de automatización que optimizan el consumo de energía en tiempo real.
- **Uso de materiales sostenibles:** Aumento del uso de materiales reciclados, renovables y de bajo impacto ambiental, como el bambú, la madera certificada o los bioplásticos.
- **Economía circular en la construcción:** Fomentar la reutilización y el reciclaje de materiales de construcción al final de su vida útil para minimizar los residuos.

Normativas Internacionales y Acuerdos Globales (Watiofy, 2022).

La sostenibilidad en la construcción está profundamente influenciada por marcos y acuerdos internacionales que buscan abordar el cambio climático y la degradación ambiental. Entre los más destacados están:

- Acuerdo de París (2015): Este acuerdo global establece compromisos para limitar el calentamiento global a menos de 2 °C, lo cual ha incentivado a los países a adoptar estrategias para reducir las emisiones de carbono en todos los sectores, incluido el de la construcción. Los edificios sostenibles desempeñan un papel crucial en la reducción de estas emisiones, tanto en las fases de construcción como en las de operación.

- Los ODS de las Naciones Unidas, particularmente el ODS 11 sobre "Ciudades y Comunidades Sostenibles", promueven el desarrollo de infraestructuras resilientes y sostenibles. También el ODS 7 sobre "Energía Asequible y No Contaminante" es clave para incentivar la eficiencia energética en la construcción.

- COP (Conferencia de las Partes): Las conferencias COP impulsan el debate y las regulaciones internacionales sobre cambio climático, con compromisos para reducir emisiones de carbono en industrias como la construcción. (Naciones Unidas, s.f.)

#### Principales Regiones y Países Líderes en Construcción Sostenible

Algunas regiones del mundo han destacado por su liderazgo en la implementación de políticas y prácticas de construcción sostenible:

- Europa: Es pionera en la construcción sostenible, con estrictas regulaciones sobre eficiencia energética y sostenibilidad. Programas como la Estrategia Europea para la Renovación han impulsado la renovación de edificios para mejorar su eficiencia energética. Países como Suecia, Alemania y Dinamarca se destacan por su enfoque en el uso de energías renovables y la reducción de la huella de carbono en el sector de la construcción.

- América del Norte: Estados Unidos y Canadá han visto un crecimiento masivo en la adopción de certificaciones como LEED y han implementado políticas para aumentar la eficiencia energética en edificios nuevos y existentes. Las ciudades como Nueva York y Vancouver están liderando la transformación hacia edificios de carbono neutro.

- Asia: Países como Singapur y Japón han integrado tecnologías avanzadas de construcción inteligente y sostenible, promoviendo el uso de edificios con certificación Green Mark en Singapur y estrategias de eficiencia energética en Japón, donde la sostenibilidad es clave debido a su alta densidad urbana. (Hogar Sostenible, 2024)

### **Desafíos Globales para la Construcción Sostenible**

A pesar de los avances, la adopción de la construcción sostenible a nivel mundial enfrenta varios desafíos:

- Costos iniciales elevados: Aunque los edificios sostenibles pueden ser más económicos a largo plazo, los costos iniciales de inversión para tecnologías sostenibles y materiales de construcción ecológicos siguen siendo altos en muchas regiones, lo que limita su adopción.
- Desigualdad en la implementación: Los países en desarrollo enfrentan dificultades para implementar prácticas de construcción sostenible debido a la falta de recursos financieros, infraestructura y conocimiento técnico, lo que aumenta la brecha entre las economías desarrolladas y en desarrollo.
- Falta de armonización regulatoria: A nivel internacional, las normativas y estándares de sostenibilidad en la construcción varían significativamente, lo que crea barreras para el intercambio de tecnologías y materiales entre regiones. (PU, 2021)

### **Perspectivas Futuras de la Construcción Sostenible a Nivel Mundial**

Se espera que la construcción sostenible continúe expandiéndose en todo el mundo a medida que las tecnologías avanzadas, como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y los edificios inteligentes, se integren cada vez más en el diseño y la gestión de edificios. Además, la colaboración internacional para compartir mejores prácticas y tecnologías será crucial para acelerar la adopción de edificios sostenibles en países en desarrollo. (Fractal, 2024).

Se puede evidenciar que la construcción sostenible a nivel mundial presenta cambios significativos en la manera de diseñar, construir y gestionar edificios. Por medio de los convenios internacionales y el desarrollo de tecnologías innovadoras, el sector de la construcción se ha convertido en un factor importante para la sostenibilidad a nivel global.

### **6.5. Sostenibilidad**

Según el Informe de (Brundtland, 1987), la sostenibilidad se refiere a la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. Esto implica un equilibrio entre el desarrollo económico, la equidad social y la protección del medio ambiente. Así mismo se definen principios de la sostenibilidad, en los cuales se destacan la equidad intergeneracional, que busca asegurar que los recursos estén disponibles para las generaciones futuras, la eficiencia de recursos, concentrada en utilizar los recursos de manera óptima para reducir el desperdicio y el cuidado al medio ambiente, que busca proteger los ecosistemas y biodiversidad.

Así mismo, el Informe (Brundtland, 1987) menciona las Dimensiones de la Sostenibilidad, como los son sostenibilidad ambiental, que relaciona la conservación de los recursos naturales y reducción de la contaminación e impacto ambiental, sostenibilidad económica, que busca un desarrollo económico que sea viable a largo plazo, garantizando la generación de empleo y la prosperidad y la sostenibilidad social enfocada en la equidad, el bienestar y la justicia social, promoviendo el acceso a servicios básicos y la participación de todos los sectores de la sociedad.

Véase también la importancia de los indicadores de sostenibilidad, donde se destaca lo mencionado por el ambientalista Herman Daly, quien, entre las décadas de 1970 y 1980, contribuyó con su propuesta de medir el desarrollo sostenible a través de

indicadores. No obstante, la (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987), subraya que los indicadores son métricas fundamentales para evaluar el grado de sostenibilidad de un proyecto o sistema. Entre los indicadores mencionados se incluyen la huella de carbono, el consumo de agua y energía, la generación de residuos, así como la calidad del aire y del agua. Estos parámetros son esenciales para entender el impacto ambiental de nuestras acciones y para guiar la toma de decisiones hacia un desarrollo más sostenible. Al utilizar estos indicadores, es posible establecer un marco de referencia claro que permita monitorear el progreso y ajustar las estrategias según sea necesario, garantizando así un enfoque integral hacia la sostenibilidad.

Reforzados en esta idea, surge la Agenda 2030, compuesta por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptada en 2015 por los Estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Estos objetivos buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad para todos. Los 17 ODS y sus 169 metas específicas constituyen una llamada a la acción global para enfrentar los desafíos más apremiantes del mundo. En este contexto, se establece la importancia de contar con indicadores que permitan medir el progreso hacia los ODS. Estos indicadores son fundamentales para evaluar el impacto de las políticas y acciones implementadas, asegurando que se realicen ajustes necesarios y se garantice la rendición de cuentas. La recopilación y análisis de datos desagregados son esenciales para entender mejor las realidades diversas de las comunidades y asegurar que nadie quede atrás en este esfuerzo colectivo.

## **6.6. Construcción Sostenible**

Como punto de partida, es fundamental reconocer que la sostenibilidad es un concepto amplio que se aplica en diversos ámbitos. Por ello, se busca establecer un modelo de referencia que incluya criterios específicos que permitan a un proyecto

declararse sostenible. Para alcanzar este objetivo, es crucial desarrollar estrategias que aclaren el significado de este término. Según (Ramirez, 2018), un proyecto de construcción sostenible se caracteriza por su respeto y compromiso con el medio ambiente, promoviendo el uso eficiente de la energía y el agua, así como la utilización de materiales y recursos que no dañen el entorno, y fomentando la reducción del impacto ambiental.

Sin embargo, en lo que respecta al desarrollo sostenible en la construcción, no basta con considerar solo las características que hacen que una edificación sea sostenible durante las etapas de diseño, planificación y construcción. Según la teoría de (Ramirez, 2018) estos principios deben aplicarse también al entorno en el que se desarrollará el proyecto y durante el proceso de integración para la creación de ciudades, lo que da lugar al concepto de urbanismo sostenible. Este enfoque busca generar un entorno urbano con edificaciones que preserven el medio ambiente, evitando cualquier impacto negativo y proporcionando recursos de manera eficiente. Estos recursos abarcan no solo la eficiencia en el consumo de energía y agua, sino también la funcionalidad del edificio, evaluando su capacidad para satisfacer necesidades específicas sin causar efectos adversos en su entorno.

No obstante, en el contexto actual, tanto a nivel mundial como en Colombia, el sector de la construcción sigue siendo muy tradicional y está influenciado por condiciones culturales arraigadas en la comunidad, lo que exige un esfuerzo conjunto para cambiar la mentalidad de la industria y las estrategias económicas que se implementan en ella, como afirma la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL, 2020).

En la Tabla 1, se pueden observar los principales criterios de sostenibilidad.

**Tabla 1.**

***Criterios de sostenibilidad en la construcción.***

<b>CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD</b>	
	Eficiencia en agua
	Eficiencia en energía
Criterios de sostenibilidad para la edificación	Manejo de materiales y recursos
	Calidad de ambiente interior
	Localización
Criterios de sostenibilidad ambiental para el territorio	Movilidad
	Gestión ambiental y resiliencia
Criterios de sostenibilidad social	Planeación incluyente
	Equidad y accesibilidad

*Nota:* La tabla anterior relaciona los criterios relevantes de la sostenibilidad realizando clasificación. Elaboración propia a partir de CONPES 3919.

Además, se han propuesto métodos para la evaluación ambiental estratégica (EAE) de proyectos de infraestructura, buscando medir el impacto ambiental de estos proyectos. En el contexto colombiano, la industria de la construcción se considera uno de los principales consumidores de recursos y generadores de emisiones de carbono, consumiendo aproximadamente el 60% de los materiales extraídos anualmente. Esto resalta la necesidad de implementar estrategias que mitiguen el impacto ambiental de este sector. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023)

Se sugieren alternativas de bajo costo que pueden ser implementadas por las empresas constructoras para reducir su huella ambiental, priorizando el reciclaje, el reúso

y la recuperación de materiales. También se enfatiza la importancia de analizar el impacto de la construcción en la calidad de vida de las personas involucradas, utilizando indicadores que faciliten su adaptación en proyectos desde la fase de diseño.

Los principios de sostenibilidad deben ser prácticos y aplicables, promoviendo la conservación de recursos. Se alienta a los profesionales del sector a adoptar la estrategia de las 10R, las cuales tiene relación con la economía circular que se basa en un modelo que busca minimizar el desperdicio y maximizar el uso de recursos, promoviendo la sostenibilidad. Las 10R son principios que ayudan a guiar este enfoque según la Fundación Ellen MacArthur, la cual es una de las principales promotoras de la economía circular:

- Repensar (*Rethink*): Reflexionar sobre los procesos de producción y consumo para diseñar soluciones más sostenibles desde el inicio.
- Rechazar (*Refuse*): Evitar el uso de materiales y productos innecesarios o nocivos para el medio ambiente.
- Reducir (*Reduce*): Minimizar la cantidad de recursos utilizados y el desperdicio generado en la construcción y operación de edificios.
- Reutilizar (*Reuse*): Encontrar nuevas formas de utilizar materiales y productos al final de su vida útil, en lugar de desecharlos.
- Reparar (*Repair*): Arreglar y mantener los productos y materiales en lugar de reemplazarlos, extendiendo así su vida útil.
- Reciclar (*Recycle*): Procesar materiales al final de su vida útil para crear nuevos productos, contribuyendo a la reducción de residuos.
- Recuperar (*Recover*): Extraer recursos de productos desechados, como energía o materiales valiosos, para su uso en nuevos procesos.

- Rediseñar (*Redesign*): Modificar el diseño de productos y sistemas para facilitar su desmontaje, reutilización y reciclaje en el futuro.
- Regenerar (*Regenerate*): Promover la restauración de recursos naturales y ecosistemas a través de prácticas sostenibles en la construcción.
- Revolucionar (*Revolutionize*): Adoptar enfoques innovadores y transformadores en la forma en que construimos, operamos y gestionamos los recursos en el sector.

Finalmente, se propone establecer una metodología que permita a los profesionales contar con herramientas desde la fase de diseño para minimizar el uso de recursos naturales y reducir la contaminación. Esto incluye tomar decisiones de diseño que optimicen el confort sin depender de sistemas artificiales, y que favorezcan la integración de elementos naturales para mejorar la eficiencia energética y la calidad del entorno construido. Se destacan mecanismos normativos que guían el desarrollo de la construcción sostenible, abarcando aspectos sociales, económicos y ambientales. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023)

En la Tabla 2, se pueden observar las principales normativas y políticas, enfocadas al área de la construcción sostenible.

**Tabla 2.**

*Normativas y Políticas más relevantes aplicadas a la Construcción Sostenible*

<b>NORMATIVAS Y POLÍTICAS MÁS RELEVANTES ENFOCADAS A LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE</b>	
2018	CONPES3919.Política nacional de edificaciones sostenibles
	Promueve la inclusión de los criterios de sostenibilidad para todos los usos dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones. Esto a partir de instrumentos e incentivos financieros que permitan implementar la iniciativa con un horizonte de acción hasta el 2025.

---

**NORMATIVAS Y POLÍTICAS MÁS RELEVANTES ENFOCADAS A LA  
CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

---

	CONPES3934. Política de crecimiento verde	Impulsa a 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo que se asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima.
	Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, pacto por la equidad	Plantea objetivos y estrategias en torno a la construcción sostenible, tales como vivienda social sostenible, economía circular, reducción de gases de efecto invernadero (GEI), entre otros.
2019	Decreto 1467 de 2019	Establece que la Vivienda de Interés Social debe cumplir con estándares de construcción sostenible
	Estrategia Nacional de Economía Circular Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocios	Estrategia que introduce al panorama colombiano nuevos elementos para fortalecer el modelo de desarrollo económico, ambiental y social del país, y está alineada con los fundamentos del desarrollo sostenible, el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, pacto por la equidad y las tendencias internacionales.
2014	Ley 1715 de 2014	Introduce incentivos tributarios para la inversión en fuentes de energías renovables no convencionales, como la energía solar fotovoltaica y programas de eficiencia energética.
2015	Resolución 0549 de 2015	Obliga a la reducción del consumo de agua y energía en edificaciones nuevas, según su tipología y zona climática. Identifica medidas pasivas y medidas activas que permiten la reducción en el consumo de agua y energía, y establece la promoción de incentivos para edificaciones que superen los requisitos mínimos de ahorro de agua y energía.
	Decreto 1285 del 2015	Establece los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones. Busca generar lineamientos y proponer incentivos y subsidios que propicien este tipo de prácticas sostenibles en el país.

<b>NORMATIVAS Y POLÍTICAS MÁS RELEVANTES ENFOCADAS A LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE</b>		
2016	Ley 1819 de 2016	Plantea los beneficios tributarios para el impulso de fuentes no convencionales de energía, y exclusión de IVA en equipos, tecnologías y servicios que ofrezcan un beneficio ambiental. También define las pautas para la no causación del impuesto de carbono a los usuarios que certifiquen ser carbono neutro.
2017	Resolución 0472 del 2017 del Ministerio de Ambiente	RCD
2018	Ley 1931 de 2018	Establece directrices para la gestión del cambio climático en acciones de adaptación y mitigación de gases de efecto invernadero.
	Resolución 463 de 2018 de la UPME	La UPME establece incentivos tributarios (exclusión de IVA y renta) por gestión eficiente de la energía, incluyendo servicios y certificaciones en construcción sostenible.

*Nota:* Esta tabla relaciona las Normativas y Políticas Más relevantes enfocadas a la Construcción Sostenible, elaboración propia a partir de CONPES 3934.

### **6.7. Construcción Sostenible y Sostenibilidad a nivel Nacional**

La construcción sostenible se refiere a prácticas y procesos de edificación que buscan minimizar el impacto ambiental, optimizar el uso de recursos y garantizar la salud y bienestar de los ocupantes. Según la (United Nations Environment Programme (UNEP), s.f.), la construcción sostenible se fundamenta en principios que promueven la eficiencia energética, la reducción de residuos y el uso de materiales ecológicos.

La construcción sostenible es crucial para abordar desafíos ambientales como el cambio climático, la degradación de los recursos naturales y la urbanización acelerada. Se estima que el sector de la construcción representa aproximadamente el 40% del

consumo total de energía y el 30 % de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (World Green Building Council, 2019).

A nivel nacional, muchos países han adoptado marcos normativos y políticas que fomentan la construcción sostenible. Por ejemplo, la implementación de certificaciones como LEED y BREEAM proporciona criterios claros para la evaluación de edificios sostenibles. Estas certificaciones incentivan la adopción de prácticas sostenibles en el diseño y construcción de edificaciones.

Colombia ha reconocido la importancia de la construcción sostenible en su agenda de desarrollo. El país ha adoptado diversas políticas y normativas que promueven prácticas de construcción sostenibles, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

- Código Nacional de Recursos Naturales: Este código establece directrices para la gestión de recursos naturales, fomentando prácticas sostenibles en la construcción.
- Ley 1715 de 2014: Promueve el uso de fuentes no convencionales de energía y la eficiencia energética, lo que tiene un impacto directo en el sector de la construcción.

En Colombia, las certificaciones de construcción sostenible como LEED y EDGE han ganado popularidad. Estas certificaciones fomentan el uso de prácticas sostenibles en el diseño y construcción de edificaciones.

#### **6.8. Construcción Sostenible y Sostenibilidad a nivel Local (Bogotá)**

El Distrito de Bogotá ha implementado diversas políticas que fomentan la sostenibilidad, como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), que incluye criterios ambientales y promueve el uso eficiente del suelo, la energía y los recursos hídricos. La construcción sostenible ha adquirido protagonismo debido al acelerado proceso de urbanización y a la necesidad de reducir la huella de carbono de la ciudad. Además,

proyectos urbanos recientes integran la sostenibilidad en sus etapas de planificación y ejecución, buscando minimizar el impacto ambiental (Bogotá, s.f.) (Ambiente, s.f.).

En Bogotá, diversas organizaciones locales han promovido la certificación de edificaciones bajo estándares internacionales como LEED y EDGE. Estas certificaciones contribuyen a consolidar la ciudad como un referente regional en sostenibilidad, fomentando la construcción de edificaciones energéticamente eficientes y ambientalmente responsables. Además, la Secretaría Distrital de Ambiente ha desarrollado programas de reconocimiento público para impulsar proyectos que integren principios de ecourbanismo y construcción sostenible, incentivando el uso de tecnologías y estrategias que minimicen el impacto ambiental y mejoren la calidad de vida urbana (Ambiente, s.f.).

De acuerdo a la información anterior donde se realizó el análisis teórico sobre la implementación de *software* en la gestión de edificios sostenibles ha permitido establecer una base conceptual sólida que respalda la importancia de la tecnología en la transformación hacia un entorno construido más eficiente y responsable con el medio ambiente. A lo largo de este marco teórico, se han presentado y discutido los principales conceptos de sostenibilidad, así como las normativas y regulaciones que orientan la construcción sostenible a nivel global, nacional y local.

En primer lugar, el concepto de sostenibilidad ha sido clave para entender cómo los edificios pueden reducir su impacto ambiental, optimizando el uso de recursos y promoviendo el bienestar social y económico. El software de gestión de edificios sostenibles juega un rol crucial en este contexto, al ofrecer herramientas que permiten monitorear, analizar y optimizar el uso de energía, agua y otros recursos, contribuyendo así a la consecución de los objetivos de sostenibilidad.

En segundo lugar, el marco normativo que regula la construcción sostenible en distintos niveles geográficos muestra cómo los gobiernos y organizaciones internacionales están impulsando la adopción de prácticas sostenibles. A nivel global, acuerdos como el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU establecen metas claras para la reducción de emisiones y el desarrollo de ciudades más sostenibles. A nivel nacional y local, los países y ciudades han desarrollado normativas que varían en su grado de rigurosidad, pero que en conjunto promueven la creación de edificios más eficientes y sostenibles.

Por último, se ha puesto de manifiesto que la construcción sostenible, tanto en el ámbito global como en el nacional y local, es un proceso en evolución. Si bien se han logrado avances significativos, persisten desafíos relacionados con la accesibilidad a las tecnologías y la disparidad en la implementación de normativas. Aquí es donde el software de gestión emerge como una solución clave, permitiendo una administración más eficaz de los recursos y el cumplimiento de las regulaciones ambientales, al tiempo que facilita la transición hacia un enfoque más holístico de la sostenibilidad.

En conclusión, la integración de *software* en la gestión de edificios sostenibles no solo es un complemento necesario para asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes, sino también un catalizador para maximizar la eficiencia operativa de los edificios y reducir su huella ecológica. Este marco teórico ha proporcionado una visión comprensiva de los factores que deben ser considerados al abordar la implementación de estas tecnologías, y servirá como base para el análisis empírico y la propuesta de soluciones en la siguiente fase de la investigación.

### **6.9. Materiales sostenibles**

Se define como materiales recuperados, reciclados o aprovechados de residuos sólidos usados para reemplazar materiales convencionales, también se define como

materiales que a lo largo de su ciclo de vida minimiza su impacto ambiental y social.

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

Con estas definiciones podemos conceptualizar que son materiales que produjeron, se utilizaron y al desecharlo produce un impacto mínimo a nivel ambiental y social.

- Principales características de los materiales sostenibles:
  - Renovabilidad: Proviene de recursos naturales que pueden regenerarse rápidamente, como el bambú o el corcho, o que se producen de forma responsable sin agotar los recursos del planeta.
  - Reciclabilidad y reutilización: Son materiales que se pueden reciclar o reutilizar al final de su vida útil, reduciendo la cantidad de residuos que se generan. Por ejemplo, el vidrio o ciertos tipos de plásticos reciclables.
  - Bajo impacto ambiental: Se producen de manera que se minimizan las emisiones de carbono y otros contaminantes. Los procesos de producción, transporte y disposición final se diseñan para tener la menor huella ecológica posible.
  - Durabilidad: Los materiales sostenibles suelen ser más duraderos, lo que reduce la necesidad de reemplazarlos frecuentemente, disminuyendo así el consumo de recursos.
  - No tóxicos: No contienen sustancias químicas nocivas ni liberan contaminantes al ambiente durante su producción, uso o descomposición.
  - Localidad: En muchos casos, los materiales sostenibles son de origen local, lo que reduce las emisiones asociadas al transporte y apoya las economías locales. (Carlemany, Universitat, 2023).

En la Guía de Materiales para la Construcción Sostenible del Ministerio del Medio Ambiente, se encuentran cuáles son los materiales más adecuados para reutilizar, restaurar, remanufacturar, reparar, que son los que provienen de actividades de construcción, excavación, construcción y deconstrucción.

En la Resolución 0472 de 2017 (modificada por Resolución 1257 de 2021) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones, se destacan los siguientes materiales sostenibles:

- Productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno.
- Productos de cimentaciones y pilotajes tales como las arcillas, bentonitas, entre otras.
- Derivados del pétreos como el hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozas de ladrillos y bloques, cerámicos, sobrantes de mezclas de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.
- No pétreos como lo son el vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos tales como PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera o cartón, drywall, entre otros.

Basados en la anterior información, se puede resumir que los materiales sostenibles son aquellos que tienen un impacto positivo equilibrando el crecimiento económico con la preservación del medio ambiente, contribuyendo al bienestar social.

#### **6.10. Mantenimiento**

Se define mantenimiento como un conjunto de técnicas que van a permitir conservar los equipos e instalaciones, asegurando su operabilidad y prolongando su vida

útil, asegurando su disponibilidad y máximo rendimiento. A finales del siglo XIX y con los inicios de la revolución industrial, las máquinas se comenzaron a hacer más complejas y así mismo se necesitaba más tiempo destinado a repararlas, fue desde entonces que se comenzaron a crear los departamentos de mantenimiento, que se dedicaban a realizar tareas correctivas, solucionando fallas. (García, 2010).

A partir de la Primera y Segunda Guerra Mundial, los departamentos de mantenimiento no solo solucionaban fallas de los equipos, ahora el mayor tiempo lo dedicaban a prevenir las fallas, con esto se logra evitar pérdidas por averías y costos asociados.

Los tipos de mantenimiento que se aplican hoy día para realizar mantenimiento son:

- **Mantenimiento correctivo:** Se realiza cuando ocurre una falla o avería. Su objetivo es reparar el daño para restablecer el funcionamiento del equipo.
- **Mantenimiento preventivo:** Consiste en la ejecución planificada de inspecciones, ajustes o reparaciones para prevenir fallos antes de que ocurran.
- **Mantenimiento predictivo:** Se basa en el monitoreo continuo del estado de los equipos para detectar signos de desgaste o fallo inminente, y así intervenir antes de que ocurra una avería.
- **Mantenimiento proactivo:** Se enfoca en identificar y corregir las causas raíz de las fallas para evitarlas en el futuro (García, 2010).

### **6.11. Confort**

El término "confort" proviene del latín "confortare", que significa "fortalecer". En un contexto general, el confort se refiere a un estado de bienestar físico y psicológico que se experimenta en un entorno determinado. Según la Organización Mundial de la Salud

(OMS), el confort se relaciona con la satisfacción de las necesidades básicas del ser humano, incluyendo aspectos físicos, emocionales y sociales, situaciones que van ligadas a espacios físicos que general satisfacción (Salud, s.f.). A partir de este concepto se consideraron categorías de la siguiente manera:

- Confort Físico: Relacionado con las condiciones ambientales, como temperatura, humedad, iluminación y ruido. La teoría del confort térmico de (Fanger, 1970), establece que el bienestar térmico es fundamental para la comodidad física de los individuos.
- Confort Psicológico: Este tipo se refiere a la percepción subjetiva de bienestar emocional. La teoría de la autodeterminación de (Deci, 1985), sugiere que el bienestar psicológico se ve influenciado por la satisfacción de las necesidades de autonomía, competencia y relación.
- Confort Social: Hace referencia a la calidad de las interacciones sociales y el sentido de pertenencia en un grupo. La teoría de la identidad social de (Tajfel, 1979), establece que la pertenencia a grupos puede influir en el bienestar individual.

En el contexto de la construcción de obras civiles sostenibles, así como en el ámbito de la arquitectura y el diseño de interiores, el confort es un elemento clave para la creación de entornos habitables. La investigación de Salgado et al. (2012) resalta que los espacios bien diseñados, que integran tanto la ergonomía como la estética, no solo mejoran la calidad de vida de los usuarios, sino que también fomentan su bienestar general. Para que un espacio proporcione el confort adecuado a cada usuario, es fundamental que se cuente con una adecuada calidad y adecuación de los ambientes. Esto implica que los espacios deben ser mantenidos y acondicionados de manera constante. Un enfoque proactivo en el mantenimiento asegura que las condiciones ambientales, como la temperatura, la iluminación y el ruido, se mantengan en niveles

óptimos, permitiendo así que los usuarios disfruten de un entorno que favorezca su salud física y mental.

Concordante con la presente investigación, es importante mencionar que la certificación *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), otorgada a construcciones categorizadas como sostenibles, no solo se centra en la sostenibilidad y la eficiencia energética, sino que también considera el confort de los ocupantes como un aspecto fundamental en el diseño de edificaciones. Entre los factores que se abordan en esta certificación se incluyen el confort térmico, la calidad del aire interior, la iluminación natural, la acústica y el diseño inclusivo.

El confort térmico asegura que los espacios mantengan temperaturas adecuadas para el bienestar de los ocupantes. La calidad del aire interior se promueve mediante el uso de materiales de bajo contenido en compuestos orgánicos volátiles y sistemas de ventilación eficientes. La iluminación natural, que maximiza la entrada de luz en los espacios, contribuye no solo a la reducción del consumo energético, sino también al bienestar emocional y la productividad de los usuarios. Además, según (Green Building Council (USGBC), 2019), se considera la acústica para minimizar el ruido y facilitar la concentración, y el diseño inclusivo garantiza que todas las personas, independientemente de sus capacidades, puedan disfrutar de un entorno confortable.

#### **6.12. Certificación LEED**

Certificación LEED sistema de certificación con reconocimiento internacional para edificios sustentables creado por el Consejo de Edificación Sustentable de Estados Unidos (*U.S. Green Building Council*). Los proyectos con certificación LEED contribuyen al ahorro económico, incrementan la eficiencia operativa, disminuyen las emisiones de carbono y promueven entornos más saludables para las personas. Estos proyectos son fundamentales para enfrentar el cambio climático, alcanzar los objetivos ambientales,

sociales y de gobierno corporativo. Un proyecto obtiene puntos al cumplir con los prerequisites y créditos relacionados con la reducción de carbono, eficiencia en el uso de agua y energía, gestión de residuos, transporte, selección de materiales, salud y calidad del ambiente interior. Estos proyectos son evaluados y verificados por *Green Business Certification Inc.* (GBCI) y, según el puntaje obtenido, pueden alcanzar distintos niveles de certificación LEED (Sostenible, 2022).

**Niveles de certificación LEED:**

- Certificado, al obtener de 40 a 49 puntos.
- Plata, al alcanzar de 50 a 59 puntos.
- Oro, al lograr de 60 a 79 puntos.
- Platino, si se obtiene 80 puntos o más (Bioconstrucción, s.f.).

## **7. Hipótesis**

A continuación, se presenta la hipótesis fundamentada en supuestos, percepciones, análisis y la recolección de información tanto primaria como secundaria, extraída de publicaciones en línea. Es importante destacar que esta información se obtiene mediante un análisis de la implementación de Sistemas de Información en edificaciones ya construidas.

El impacto que tiene la implementación de Sistemas de Información especializados en gestión de edificios sostenibles asegura que se mantengan las condiciones que los califican como sostenibles a lo largo del tiempo y garantiza su contribución a la mitigación del daño ambiental.

## 8. Variables

A continuación, se presentan las variables que están correlacionadas con los objetivos planteados y con la hipótesis del proyecto, la cuales surgen a partir del análisis de las fuentes de información que sustentan el presente documento. Las variables para analizar son las siguientes: Confort del Usuario

Según la (World Green Building Council, 2019), la cual es una organización es una organización internacional que se dedica a promover la construcción sostenible y la creación de edificios verdes, el confort y construcción sostenible es fundamental para crear edificios que no solo sean eficientes y respetuosos con el medio ambiente, sino que también ofrezcan un ambiente agradable y saludable al usuario, explorando la postura de como los entornos de trabajo sostenible puedes mejorar la salud y bienestar de los ocupantes, Según (Anink, Boonstra, Mak., 2006) existe una clara correlación entre el diseño sostenible y la calidad del entorno construido, destacando cómo estos factores se relacionan con el confort y el mantenimiento de los espacios. Este enfoque integral aborda los principios y prácticas del diseño de edificios sostenibles, enfatizando que:

- Confort del Usuario: El diseño sostenible no solo se centra en la eficiencia energética y el uso responsable de los recursos, sino que también tiene en cuenta el bienestar de los ocupantes. Un ambiente confortable es fundamental para mejorar la salud y la productividad de los usuarios. (Anink, Boonstra, Mak., 2006)

- Mantenimiento Eficiente: La selección de materiales duraderos y de bajo mantenimiento en el diseño sostenible no solo reduce costos a largo plazo, sino que también contribuye a un entorno más agradable. Un mantenimiento adecuado asegura que las características de confort se mantengan a lo largo del tiempo. (Anink, Boonstra, Mak., 2006)

En la Tabla 3, se pueden observar las clasificaciones de las variables, enfocadas al confort del usuario.

**Tabla 3.**

*Clasificación de variable confort del usuario.*

<b>CLASIFICACIÓN</b>	
Variable	Nivel de confort del usuario de edificaciones sostenibles
Definición conceptual	Grado en que las condiciones del entorno (temperatura, humedad, iluminación) satisfacen las necesidades y expectativas de los ocupantes.
Definición operacional	La evaluación de la satisfacción de los usuarios se llevará a cabo mediante encuestas de satisfacción y mediciones de condiciones ambientales, que incluirán la temperatura en °C y los niveles de luz en lux. Los participantes utilizarán una escala numérica del 1 al 5 para expresar su grado de satisfacción, donde 1 representa "muy insatisfecho" y 5 "muy satisfecho".
Indicador	<p>Escala de satisfacción Likert del 1 al 5</p> <p>Muy Insatisfecho (1):</p> <p>Insatisfecho (2):</p> <p>Neutral (3):</p> <p>Satisfecho (4):</p> <p>Muy Satisfecho (5):</p>
Dimensiones	Teniendo en cuenta que la encuesta busca medir el nivel de satisfacción de los usuarios en edificios sostenibles, la cual permite identificar la calidad a nivel de mantenimiento y la operación de la edificación, a partir de la percepción de confort

---

**CLASIFICACIÓN**

---

del usuario, por lo que se tendrán en cuenta los siguientes indicadores:

Confort Térmico y Acústico Preguntas sobre la percepción de temperatura y ruido pueden revelar áreas que requieren atención

Calidad del Aire Interior Calidad del Aire Interior: Medir la satisfacción con la ventilación y la calidad del aire puede ayudar a identificar problemas de mantenimiento en sistemas HVAC.

Funcionalidad de los Espacios Evaluar la adaptabilidad y el uso eficiente de los espacios puede proporcionar información sobre la efectividad del mantenimiento y la planificación del diseño.

Tipo	Cuantitativa
Nivel de medición	Ordinal
Unidad de medida	Ponderado de nivel de satisfacción del usuario
Herramienta utilizada	Encuesta

---

*Nota:* Esta tabla muestra las características a estudiar para la variable “Confort”.

### 8.1. Durabilidad del Proyecto

✓ Definición Conceptual: Tiempo que un edificio puede mantenerse funcional y en condiciones óptimas antes de requerir mantenimiento o renovación significativa.

✓ Operación: Se calculará a través de la vida útil estimada del edificio en años y registros de mantenimiento.

En la Tabla 4, se pueden observar la clasificación de la variable durabilidad.

#### Tabla 4.

*Clasificación de variable durabilidad del proyecto.*

CLASIFICACIÓN	
Tipo	Variable cuantitativa
Nivel de medición	Continua
Unidad de medida	Tiempo de durabilidad de los edificios sostenibles objeto de estudio
Herramienta utilizada	Fichas de reconocimiento, que permitan analizar el deterioro a través del tiempo

*Nota:* Esta tabla muestra las características a estudiar para la variable “Durabilidad del proyecto”.

### 8.2. Costos Operativos

✓ Definición conceptual: Impacto del *software* en la reducción de los costos asociados a la operación del edificio, incluyendo energía, agua, y mantenimiento.

✓ Definición operativa: Se mide en porcentaje de reducción de costos operativos tras la implementación del software, en comparación con los costos operativos anteriores.

En la Tabla 5, se pueden observar la clasificación de la variable costos operarios.

**Tabla 5.**

*Clasificación de variable costos operativos.*

CLASIFICACIÓN	
Tipo	Cuantitativa
Nivel de medición	Continua
Unidad de medida	Porcentaje (%) de reducción en los costos operativos en pesos COP
Herramienta utilizada	Solicitud de información por medio Derechos de Petición

**Nota:** Esta tabla muestra las características a estudiar para la variable “Costos operativos”.

- Automatización de Procesos
- ✓ Definición conceptual: Grado en que el *software* permite automatizar procesos operativos del edificio, como el control de temperatura, iluminación, o mantenimiento.
- ✓ Definición operativa: Se mide por el porcentaje de procesos del edificio que son automatizados gracias al *software*.

En la Tabla 6, se pueden observar la clasificación de la variable automatización de procesos.

**Tabla 6.**

*Clasificación de variable automatización de procesos*

CLASIFICACIÓN	
Tipo	Cuantitativa
Nivel de medición	Continua

Unidad de medida	Porcentaje (%) de procesos automatizados
Herramienta	Encuesta

---

*Nota:* Esta tabla muestra las características a estudiar para la variable “Automatización de procesos”.

## 9. Metodología

En el libro Metodología de la Investigación, se encuentra que el enfoque cuantitativo, se caracteriza por utilizar métodos y técnicas cuantitativas y por ende tiene que ver con la medición, el uso de magnitudes, la observación y medición de las unidades de análisis, el muestreo el tratamiento estadístico, además, indica que:

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis formuladas previamente; además, confía en la medición de variables e instrumentos de investigación, con el uso de la estadística descriptiva e inferencial, en tratamiento estadístico y la prueba de hipótesis; la formulación de hipótesis estadísticas, el diseño formalizado de los tipos de investigación; el muestro, etc. ( Ñaupas Humberto, 2023).

Este trabajo está enfocado en evaluar el impacto de la implementación de sistemas de información en la gestión de edificios sostenibles, por cuanto el enfoque de la investigación es cuantitativo, y se centrará en explicar cómo el *software* puede mejorar la administración de estos edificios, entender las causas o efectos del uso de dicho *software*.

En (Ñaupas Humberto, 2023), se define la investigación explicativa, que tiene como objetivo solucionar problemas que se expresan a partir de los interrogantes del tipo ¿Por qué X? y sobre la base del descubrimiento de los factores causales que han podido incidir o afectar la ocurrencia de un fenómeno. La investigación que se aplicará en este trabajo será de tipo explicativa, ya que se analizará por qué es importante implementar sistemas de información de gestión de edificios sostenibles y su impacto en la gestión de recursos, durabilidad y buen estado de las construcciones.

### 9.1. Población y Muestra

En los últimos años, la sostenibilidad se ha convertido en un pilar fundamental en el desarrollo urbano de Latinoamérica. Las ciudades están adoptando estrategias para integrar prácticas sostenibles en sus planes de desarrollo, lo que resulta en un mejor uso de recursos y una menor huella de carbono. Esto incluye iniciativas en la construcción de edificios que cumplen con certificaciones de sostenibilidad, como LEED, que promueve la eficiencia energética y el bienestar de los ocupantes (LEAF Latinoamérica, 2024). Las siguientes son las edificaciones certificadas en LEED en la ciudad de Bogotá:

- I. Edificio Ean Legacy:
  - Dirección: Calle 79 No. 11 - 45, Bogotá, Colombia.
- II. Edificio Seguridad Superior:
  - Dirección: Avenida El Dorado No. 68-27, Bogotá, Colombia.
- III. El Edén Centro Comercial:
  - Dirección: Av. Boyacá No.12b-18, Bogotá, Colombia.
- IV. El Novartis New Building:
  - Dirección: Calle 113 No. 7-45, Bogotá, Colombia.
- V. El Colegio Rochester:
  - Dirección: Calle 127 No. 7-70, Bogotá, Colombia.
- VI. El Edificio Corporativo de Amarillo:
  - I. Dirección: Avenida Carrera 7 No. 116 - 24, Bogotá, Colombia.

(Leaf Latinoamérica, 2024)

Es importante considerar que las construcciones mencionadas previamente fueron preseleccionadas. Como parte del desarrollo y clasificación dentro de la metodología, se intentará contactar con personal de mantenimiento, gerentes o encargados de estas edificaciones. De ser necesario, se remitirán derechos de petición,

además de recurrir a fuentes de información secundaria publicadas en diversas plataformas relacionadas. Esto permitirá obtener entrevistas que faciliten la recolección de datos necesarios para la presente investigación. A partir de este proceso, se filtrarán y seleccionarán las edificaciones.

En cuanto a las encuestas mencionadas más adelante, estas se llevarán a cabo con los usuarios de las edificaciones, ya que se busca obtener una perspectiva transparente de quienes habitan estos espacios, y no solo de quienes los gestionan. Incluir estas voces es fundamental para comprender el impacto real de las iniciativas sostenibles en la vida cotidiana de los usuarios (LEAF Latinoamérica, 2023).

Es importante tener en cuenta que algunas de estas empresas y edificaciones están obligadas a publicar informes sobre sus avances en sostenibilidad y cumplimiento normativo, en conformidad con las regulaciones a las que están sujetas, las cuales se mencionan a continuación:

- I. Código de Recursos Naturales y Protección del Ambiente: Este código establece lineamientos para la sostenibilidad y protección ambiental, lo que incluye la obligación de las empresas de reportar sobre su impacto ambiental.
- II. Acuerdo 7 de 2010: Este acuerdo del Concejo de Bogotá establece políticas de desarrollo sostenible y determina que las edificaciones deben presentar informes sobre su consumo energético y el uso de recursos.
- III. Normas de certificación LEED y otras certificaciones: Las edificaciones que buscan obtener certificaciones como LEED deben cumplir con requisitos específicos de reporte sobre su desempeño en sostenibilidad y eficiencia energética.

IV. Ley 1715 de 2014: Esta ley promueve el uso de fuentes no convencionales de energía y obliga a ciertos sectores a reportar sus avances en la implementación de prácticas sostenibles.

V. Normas de la Secretaría Distrital de Ambiente: Estas normativas incluyen requisitos de informe para proyectos de construcción y desarrollos urbanos, especialmente aquellos que impactan en recursos naturales y en el medio ambiente.

## **9.2. Tamaño de la Muestra**

Para la selección del tamaño de la muestra, se utilizó la fórmula de Conover (1999), que es adecuada para calcular un tamaño de muestra representativo en poblaciones relativamente pequeñas. La población objetivo comprende aproximadamente 4,518 individuos, incluyendo administradores, propietarios y usuarios de edificaciones que han implementado prácticas sostenibles. Este enfoque garantiza que la muestra refleje adecuadamente la diversidad de opiniones y experiencias de los diferentes actores involucrados en el uso y gestión de estos espacios. Al considerar tanto a quienes gestionan como a quienes utilizan las edificaciones, se busca obtener una visión integral sobre el impacto de las prácticas sostenibles en la Comunidad.

La cifra mencionada anteriormente proviene de la Norma Técnica Colombiana 1700 (NTC), específicamente en su numeral 4.9.5.2, que trata sobre ocupación mixta. Según esta norma, para las ocupaciones de uso comercial, residencial y educativo aspectos que se encuentran delimitados dentro de las edificaciones seleccionadas se debe contar con un área mínima bruta de 27 m<sup>2</sup> por persona. Este requisito es válido para áreas internas o construidas, es decir, aquellas que se encuentran bajo techo. No se contemplan áreas de circulación, puntos fijos, zonas verdes y otros espacios que tienen diferentes áreas de ocupación por persona, como las baterías sanitarias. Por lo tanto, las

cifras que se presentan a continuación solo incluyen espacios de uso continuo, como aulas de clases, locales comerciales, oficinas y otros relacionados.

- Edificio Ean Legacy: Aproximadamente 10,000 m<sup>2</sup>.
- Edificio Seguridad Superior: Aproximadamente 15,000 m<sup>2</sup>.
- El Edén Centro Comercial: Aproximadamente 50,000 m<sup>2</sup>.
- El Novartis New Building: Aproximadamente 20,000 m<sup>2</sup>.
- El Colegio Rochester: Aproximadamente 15,000 m<sup>2</sup>.
- El Edificio Corporativo de Amarillo: Aproximadamente 12,000 m<sup>2</sup>.

Capacidad aproximada de personas para cada edificación, dividiendo el área total en metros cuadrados por 27 m<sup>2</sup> por persona:

- Edificio Ean Legacy:
  - Área: 10,000 m<sup>2</sup>
  - Capacidad:  $10,000 \text{ m}^2 \div 27 \text{ m}^2/\text{persona} \approx 370$  personas
- Edificio Seguridad Superior:
  - Área: 15,000 m<sup>2</sup>
  - Capacidad:  $15,000 \text{ m}^2 \div 27 \text{ m}^2/\text{persona} \approx 556$  personas
- El Edén Centro Comercial:
  - Área: 50,000 m<sup>2</sup>
  - Capacidad:  $50,000 \text{ m}^2 \div 27 \text{ m}^2/\text{persona} \approx 1,852$  personas
- El Novartis New Building:
  - Área: 20,000 m<sup>2</sup>
  - Capacidad:  $20,000 \text{ m}^2 \div 27 \text{ m}^2/\text{persona} \approx 740$  personas
- El Colegio Rochester:
  - Área: 15,000 m<sup>2</sup>
  - Capacidad:  $15,000 \text{ m}^2 \div 27 \text{ m}^2/\text{persona} \approx 556$  personas

- El Edificio Corporativo de Amarilo:
  - Área: 12,000 m<sup>2</sup>
  - Capacidad: 12,000 m<sup>2</sup> ÷ 27 m<sup>2</sup>/persona ≈ 444 personas

Resumen de Capacidades

- Edificio Ean Legacy: 370 personas
- Edificio Seguridad Superior: 556 personas
- El Edén Centro Comercial: 1,852 personas
- El Novartis New Building: 740 personas
- El Colegio Rochester: 556 personas
- El Edificio Corporativo de Amarilo: 444 personas

$$370+556+1,852+740+556+444=4,518 \text{ personas}$$

El total aproximado de personas que pueden ocupar las seis edificaciones es de 4,518 personas. Aunque se preseleccionaron las edificaciones mencionadas anteriormente, se buscará establecer contacto directo con al menos tres de ellas, donde se encuentre la interacción con los encargados. En estos espacios, se realizarán encuestas a los usuarios y entrevistas a los responsables de la gestión. Para determinar el tamaño de la muestra, teniendo en cuenta la población de 4.518 personas, se calcula con un nivel de confianza 90 % y margen de error del 10 %, dando como resultado un total de 67 personas a encuestar.

En la Tabla 7, se pueden observar la fórmula y cálculo realizado para determinar el número de encuestas a aplicar.

**Tabla 7.**

*Cálculos para definir tamaño de la muestra para encuestas para usuarios*

Fórmula	La fórmula utilizada para	$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times (1 - p)}{(E^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times (1 - p))}$
---------	---------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

	calcular el tamaño	-n0 = tamaño de la muestra
	de la muestra es la	-Z = valor Z correspondiente al nivel de
	siguiente:	confianza deseado (90% de confianza)
		-p = proporción estimada de la población
		(0.5 si no hay información previa)
		-e = margen de error tolerado (10% de
		margen de error)
Cálculo del	Con un nivel de	
Tamaño de	confianza del 90 %	
Muestra:		
Selección	Se llevará a cabo un muestreo aleatorio para seleccionar	
Aleatoria:	participantes de los diferentes grupos de la población objetivo.	
	Para el caso específico de las encuestas serán usuarios de las	
	edificaciones seleccionadas, asegurando que se reflejen	
	adecuadamente las diversas perspectivas, por lo que se realizará	
	la encuesta a 67 personas	

---

*Nota:* La anterior tabla muestra los cálculos realizados para la selección de la muestra.

En el presente estudio, se identifican dos tipos de población: por un lado, los usuarios de las edificaciones, a quienes se les aplicarán encuestas para recoger sus opiniones y experiencias; por otro lado, los encargados, que incluyen jefes de mantenimiento y otros responsables, a quienes se les realizarán entrevistas. Se busca asegurar que el número mínimo de entrevistas con los encargados sea de al menos tres, lo que permitirá obtener una perspectiva completa y equilibrada sobre el funcionamiento y la sostenibilidad de las edificaciones analizadas.

De acuerdo con los objetivos establecidos en este documento, a continuación, se presenta la metodología que se implementará para su desarrollo. Esta metodología ha sido diseñada para garantizar un enfoque sistemático y riguroso en la investigación sobre la efectividad de los sistemas de información en edificaciones sostenibles. Se detallarán los pasos a seguir, las herramientas a utilizar y los criterios de selección para asegurar que los resultados obtenidos sean representativos y significativos.

### 9.3. Validación del Instrumento

En primera instancia, durante la presentación del anteproyecto se llevó a cabo una validación inicial del instrumento con el apoyo de expertos. No obstante, con el fin de fortalecer la validez de la investigación, se procedió posteriormente a evaluar la confiabilidad mediante el coeficiente Alfa de Cronbach. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

En la Tabla 8, se puede identificar el coeficiente Alfa de Cronbach de 0.89 (*raw\_alpha*) y un Alfa de Cronbach estandarizado de 0.90 (*std.alpha*).

#### Tabla 8.

*Coefficiente Alfa de Cronbach de 0.89 (raw\_alpha) y un Alfa de Cronbach estandarizado de 0.90 (std. alpha).*

<b>raw_alpha</b>	<b>std.alpha</b>
<b>0.89</b>	0.9

*Nota:* se pueden observar Los resultados obtenidos muestran un coeficiente Alfa de Cronbach de 0.89 (*raw\_alpha*) y un Alfa de Cronbach estandarizado de 0.90 (*std.alpha*). Ambos valores se consideran muy altos, ya que superan el umbral de 0.70 recomendado en la literatura para garantizar una adecuada consistencia interna del

instrumento. El hecho de que la diferencia entre el alfa calculado directamente y el estandarizado sea mínima (0.01) indica que los ítems presentan una escala homogénea y que no existen variaciones significativas entre ellos que afecten la confiabilidad del cuestionario. En consecuencia, se concluye que el instrumento aplicado cuenta con una excelente fiabilidad, lo cual respalda su uso en la investigación y asegura que las respuestas obtenidas.

Ambos valores son muy altos, lo que indica que el conjunto de ítems mide de forma consistente un mismo constructo (en este caso, sostenibilidad/condiciones de los edificios LEED). Un  $\alpha \geq 0.70$  es aceptable; valores alrededor de 0.90 son considerados excelentes. En general, el instrumento presenta alta confiabilidad y puede usarse para medición en estudios de sostenibilidad de edificios.

Los ítems relacionados con manejo de desechos, iluminación y edificación sostenible son los más determinantes para la escala, lo que sugiere que estos aspectos son percibidos como centrales en la evaluación de sostenibilidad. No se recomienda eliminar ninguna de los ítems analizados, ya que estos muestran consistencia con el constructo total.

En la Tabla 9, se puede identificar el análisis de confiabilidad ítem por ítem mediante Alfa de Cronbach

**Tabla 9.**

*Análisis de confiabilidad ítem por ítem mediante Alfa de Cronbach*

<b>COD</b>	<b>ITEM</b>	<b>R_DROP</b>	<b>ALPHA_IF_DELETED</b>
1	Interior_edificio	0.4686149	0.8920066
2	Temperatura_edificio	0.6518725	0.8816553
3	Calidad_aire	0.6214055	0.8827091
4	Iluminación	0.6646678	0.8801153
5	Espacios_verdes	0.6474485	0.8815090
6	Manejo_desechos	0.7002140	0.8787884
7	Planta_fisica	0.5845224	0.8852047
8	Mantenimiento	0.5588160	0.8862730
9	Averias	0.6643396	0.8809425
10	Concepto_Ed_Sostenible	0.6324596	0.8820567
11	Edificacion_sostenible	0.6718687	0.8803286

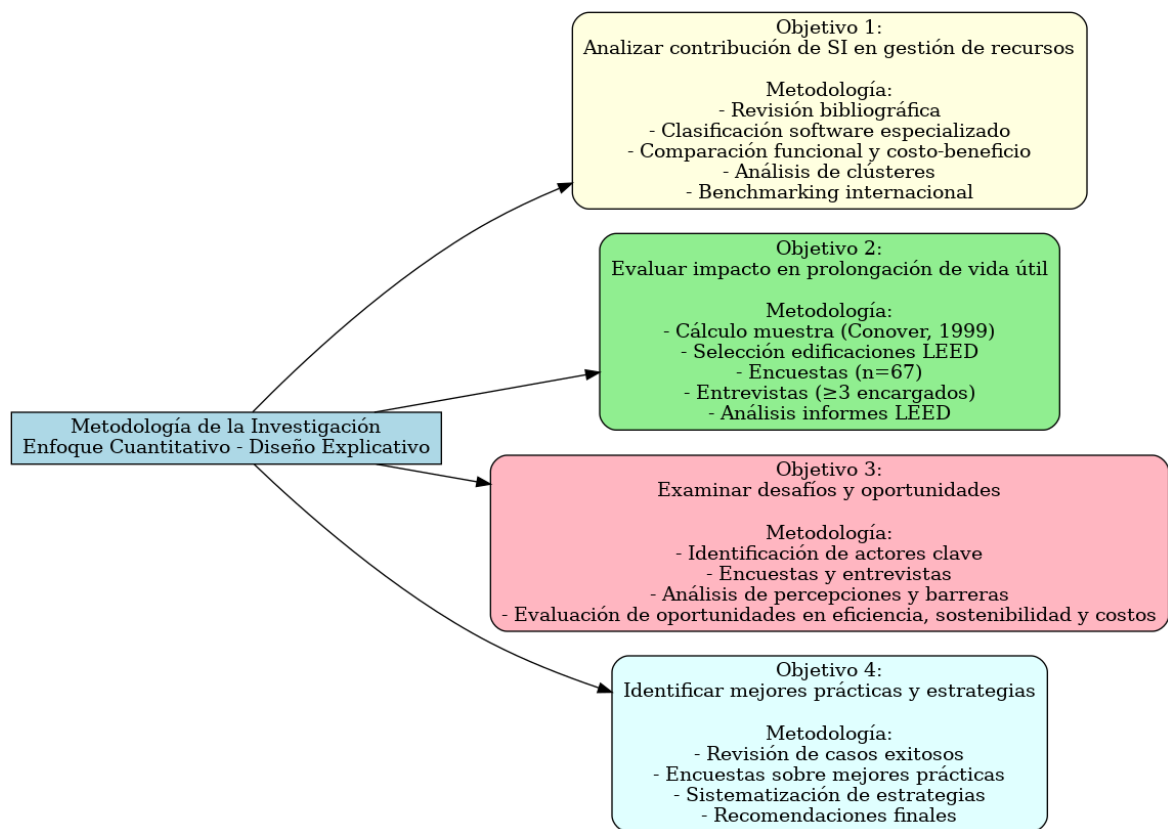
*Nota:* La tabla presenta los resultados de confiabilidad ítem por ítem del instrumento, evaluados a través del coeficiente Alfa de Cronbach. Se observa que todos los ítems alcanzan valores de correlación ítem-total corregida (R\_DROP) superiores a 0.48, lo cual indica una adecuada relación con el total de la escala. Asimismo, los valores de ALPHA\_IF\_DELETED oscilan entre 0.878 y 0.885, muy próximos al alfa global (0.89 – 0.90), lo que demuestra que la eliminación de ninguno de los ítems mejora de manera significativa la confiabilidad general.

De manera particular, los ítems Manejo de desechos ( $R\_DROP = 0.70$ ) y Edificación sostenible ( $R\_DROP = 0.67$ ) son los que presentan mayor aporte a la consistencia interna del instrumento, mientras que el ítem Interior del edificio ( $R\_DROP = 0.49$ ) refleja la menor correlación, aunque dentro de un rango aceptable.

A continuación, se presenta el diagrama de la metodología a nivel general, el cual facilita la comprensión del enfoque adoptado en el desarrollo de la investigación:

**Figura 1.**

Esquema metodología



#### 9.4. Metodología aplicada para el objetivo específico No. 1

A continuación, se realiza una descripción de la metodología a implementar para el objetivo específico No1. “Analizar cómo los sistemas de información actuales

contribuyen a la gestión eficiente de los recursos en edificios sostenibles”, teniendo en cuenta este se realizará la siguiente metodología:

- I. Revisión bibliográfica. Realizar la verificación de la literatura existente sobre los sistemas de información implementados en edificaciones sostenibles. Se identificarán publicaciones e investigaciones que contengan datos específicos y generales sobre las principales edificaciones que cuentan con certificación LEED, lo que permitirá realizar una clasificación. Dentro de las fuentes de información que se tienen contempladas se encuentran.

#### US Green Building Council (USGBC)

- El sitio web de USGBC proporciona información sobre proyectos LEED en todo el mundo, incluyendo Colombia.

#### World Green Building Council

- Este sitio ofrece recursos y estudios sobre construcciones sostenibles a nivel global, y se puede tener información sobre el desarrollo de edificaciones LEED en Colombia.

#### Publicaciones Académicas

- Google Scholar: Artículos académicos sobre edificaciones LEED en Colombia.
- Revistas especializadas: Publicaciones como *Journal of Green Building* y *Sustainable Cities and Society*.

#### Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia

- El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible puede tener documentos y guías sobre normativas y prácticas de construcción sostenible, así como información sobre proyectos destacados.

#### Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL)

Esta organización suele publicar informes y estadísticas sobre la industria de la construcción, incluyendo información sobre certificaciones LEED.

#### Blogs y Noticias Especializadas

- Plataformas como *Construcción Sostenible* y *Ingeo* suelen publicar noticias sobre proyectos LEED y tendencias en sostenibilidad en la construcción.

II. Identificación de sistemas de información. Se identificarán los sistemas de información implementados para el mantenimiento de las edificaciones. Para obtener estos datos mediante los siguientes medios:

#### Documentación Interna de Empresas (información pública)

- Manuales y Protocolos de Mantenimiento: Las empresas constructoras o de gestión de edificios suelen tener documentación sobre los sistemas utilizados para el mantenimiento.
- Reportes de Gestión: verificación de informes anuales o de sostenibilidad que mencionen herramientas y sistemas implementados.

#### Estudios de Caso

- Proyectos de Investigación: verificar estudios de caso que analicen edificios específicos y los sistemas de mantenimiento utilizados.
- Publicaciones Académicas: Artículos en revistas sobre gestión de edificios.

#### Plataformas y Software de Gestión

- Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (CMMS): se realizará la verificación e investigación de los siguientes aplicativos para la obtención de datos.

- Maintenance Connection
- Hippo CMMS
- FMX

- Sistemas Integrados de Gestión de Edificios (BMS)

#### Certificaciones y Normativas

- LEED y Otras Certificaciones: se verificarán los requisitos y documentos asociados a certificaciones como LEED, que pueden mencionar sistemas de mantenimiento recomendados.
- Normativas Locales: Las regulaciones locales sobre construcción sostenible pueden incluir requerimientos específicos para el mantenimiento.

III. Análisis de caso de estudio. Se identificarán y seleccionarán edificaciones sostenibles que ya hayan implementado sistemas de información para el mantenimiento. Este proceso permitirá enfocar el análisis en casos concretos que ejemplifiquen la efectividad de estos sistemas en la gestión y optimización del mantenimiento.

IV. Para la recopilación de datos, se implementarán encuestas diseñadas para obtener información relevante sobre las variables objeto de estudio. Se llevarán a cabo entrevistas a un mínimo de tres personas vinculadas directamente con las edificaciones seleccionadas, las cuales cuentan con certificación LEED.

Estas entrevistas podrán ser realizadas con jefes de mantenimiento, gerentes de instalaciones y otros responsables relevantes. El objetivo de estas encuestas es obtener información de primera mano sobre los sistemas de información que utilizan estas edificaciones y evaluar la eficiencia en el uso de recursos. Las preguntas serán con escala numérica pero se dará espacio para posibilidad a preguntas abiertas de ser necesario, lo que permitirá a los entrevistados expresar sus opiniones y experiencias de manera detallada. Además, se aplicarán encuestas en escala Likert a algunos usuarios, lo que proporcionará una visión desde la perspectiva del usuario sobre su percepción de los sistemas implementados.

V. Evaluación y recopilación de datos, Se procederá a analizar y concluir los datos.

Una vez descritos los pasos anteriores, se relaciona a continuación la ficha de resumen a implementar en la metodología referente al Objetivo No.1. (ver tabla 10 y 11).

En la Tabla 10, se pueden observar la ficha de caracterización para el objetivo 1

**Tabla 10.**

*Ficha de caracterización para el objetivo No 1 entrevistas*

CARACTERIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
Ciudad de aplicación	Bogotá, Colombia
Cargo de las personas entrevistadas	Jefes de mantenimiento, administradores, gerentes y otros responsables relevantes
Población para las entrevistas	3 jefes de mantenimiento, administradores, gerentes y otros responsables relevantes
Edificaciones preseleccionadas para la recolección de datos	Edificio Ean Legacy Edificio Seguridad Superior El Edén Centro Comercial El Novartis New Building en Bogotá El Colegio Rochester El edificio Corporativo de Amarillo
Muestra	3 jefes de mantenimiento, administradores, gerentes y otros responsables relevantes
Nivel de confianza	90%
Medio de recopilación	Entrevista física o digital (ver Anexo 1)

*Nota:* Esta tabla muestra el resumen de la metodología a implementar para el objetivo 1 en la etapa de entrevista.

En la Tabla 11, se pueden observar la ficha de caracterización para el objetivo 1 encuestas

**Tabla 11.**

*Ficha de caracterización para el objetivo No 1 Encuestas*

CARACTERIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
Ciudad de aplicación	Bogotá, Colombia
Cargo de las personas encuestada	67 usuarios de las edificaciones
Población para las encuestas	67 usuarios de las edificaciones
Edificaciones preseleccionadas para la recolección de datos	Edificio Ean Legacy Edificio Seguridad Superior El Edén Centro Comercial El Novartis New Building en Bogotá El Colegio Rochester El edificio Corporativo de Amarilo
Muestra	67 usuarios de las edificaciones
Nivel de confianza	90%
Graco de precisión	10%
Medio de recopilación	Encuesta física preguntas entre rango de 1 a 5 ( <i>ver Anexo 2</i> )

*Nota:* Esta tabla muestra el resumen de la metodología a implementar para el objetivo 1 en la etapa de encuestas.

### **9.5. Metodología aplicada para el objetivo específico No. 2**

A continuación, se realiza una descripción de la metodología a implementar para el objetivo específico No 2. “Evaluar el impacto de la integración de sistemas de

información en la prolongación de la vida útil de los edificios sostenibles”, teniendo en cuenta este se realizará la siguiente metodología:

- I. Definición y selección del alcance, selección de las edificaciones sostenibles que se analizarán.
- II. Categorización de las edificaciones, Se identificarán cuales de las edificaciones sostenibles implementan sistema de información para el mantenimiento.
- III. Instrumentos de evaluación, para la recopilación de datos, se implementarán encuestas diseñadas para obtener información relevante sobre las variables objeto de estudio. Se llevarán a cabo entrevistas a un mínimo de tres personas vinculadas directamente con las edificaciones seleccionadas, las cuales cuentan con certificación LEED. Estas entrevistas podrán ser realizadas con jefes de mantenimiento, gerentes de instalaciones y otros responsables relevantes. El objetivo de estas encuestas es obtener información de primera mano sobre los sistemas de información que utilizan estas edificaciones y evaluar la eficiencia en el uso de recursos. Las preguntas serán en escala de 1 a 5 y de carácter abierto de ser necesario, lo que permitirá a los entrevistados expresar sus opiniones y experiencias de manera detallada.
- IV. Recolección y análisis de datos, Se recopilarán las respuestas procediendo a realizar un análisis de los datos recolectados.
- V. Comparación, Se compararán los resultados en cada una de las edificaciones seleccionadas y se elaborará un informe de resultados con el fin de verificar la viabilidad de la implementación de estos sistemas en las edificaciones, Una vez descritos los pasos anteriores remitirse a Tabla 9. Ficha de caracterización para el objetivo No 1 entrevistas (ver Anexo 1).

### **9.6. Metodología aplicada para el objetivo específico No. 3**

A continuación, se describe la metodología aplicada para el objetivo No.3  
“Examinar los desafíos y oportunidades en la adopción de Sistemas de información para  
la gestión de recursos y mantenimiento en edificios sostenibles”.

- **Actividades:**

**Definición y selección del alcance:**

Selección de las edificaciones sostenibles que se analizarán.

**Verificación de bibliografía:**

Verificación de la literatura, que dé cuenta de la implementación de sistemas de  
información en edificaciones sostenibles.

**Identificación de interesados:**

Caracterizar los principales actores involucrados en la adopción de estos  
sistemas, como administradores de edificios, ingenieros de mantenimiento y usuarios.

**Instrumentos de evaluación:**

Se llevará a cabo la implementación de encuestas para obtener resultados sobre  
las variables objeto de estudio. Para ello, se aplicarán las encuestas numeradas del 1 al  
5 (ver anexos 1, 2 y 3) a un mínimo de 67 usuarios (Según el diseño muestral).

**Análisis de desafíos y oportunidades:**

Verificar e identificar, a partir de las encuestas, si existe desconocimiento en torno  
al tema de la adopción de sistemas de información. Además, se analizará la oportunidad  
de mejora en la eficiencia operativa, la sostenibilidad a largo plazo y la reducción de  
costos asociados. Este análisis permitirá comprender mejor las percepciones de los  
usuarios y la reducción de costos asociados, así como las áreas clave en las que se  
pueden implementar mejoras significativas.

Conclusiones y recomendaciones: Se elaborará un informe de resultados, que permita identificar los desafíos y oportunidades de implementación de estos sistemas.

#### **9.7. Metodología aplicada para el objetivo específico No. 4**

A continuación, se describe las actividades a realizar para el desarrollo de la metodología del objetivo específico No.4 “Identificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles”.

Las actividades previstas para cumplir con el objetivo No. 4 serán análogas a las utilizadas para el objetivo No. 3. Sin embargo, en este caso, las encuestas (ver *Anexo 2*), permitirán obtener datos relacionados con la implementación de mejores prácticas y la existencia e implementación de sistemas de información en las edificaciones donde se aplicarán las encuestas.

## 10. Técnicas para el análisis de la información

El presente estudio, de enfoque cualitativo con apoyo en herramientas cuantitativas, se desarrolló con el objetivo de comprender el impacto de los sistemas de información en la gestión de recursos y el mantenimiento de edificios sostenibles, particularmente en edificaciones con certificación LEED en Colombia. Para alcanzar los objetivos propuestos, se emplearon diversas técnicas de recolección y análisis de datos que permitieron triangular la información obtenida desde distintas perspectivas: la del usuario cotidiano y la de los responsables técnicos de operación.

- **Recolección de datos**

El trabajo de campo se estructuró en dos componentes fundamentales:

Encuestas a usuarios: Se aplicaron encuestas estructuradas a usuarios de tres edificaciones sostenibles —el Centro Comercial El Edén, el Edificio EAN Legacy y el Edificio Corporativo Amarillo— con el fin de conocer la percepción general sobre la sostenibilidad del edificio, el confort térmico y lumínico, la eficiencia operativa y la facilidad de acceso a los servicios del inmueble. Las preguntas incluyeron tanto ítems de escala tipo Likert como preguntas abiertas, lo cual permitió recoger tanta información cuantificable como valoraciones subjetivas.

- **Entrevistas semiestructuradas**

Se llevaron a cabo tres entrevistas a profundidad con los encargados del mantenimiento de cada uno de los edificios estudiados. Estas entrevistas permitieron recolectar datos cualitativos relacionados con la operación de los sistemas de información implementados (como BMS, sensores IoT, dashboards de mantenimiento, etc.), los desafíos encontrados en su gestión diaria, las estrategias aplicadas para su adopción y los resultados observados en términos de eficiencia y sostenibilidad.

- **Procesamiento de los datos**

Los datos provenientes de las encuestas fueron organizados y sistematizados en una base de datos en Microsoft Excel, que sirvió como plataforma para la codificación, limpieza y análisis estadístico descriptivo. Se aplicaron filtros para agrupar las respuestas por tipo de usuario, frecuencia de uso del edificio, y percepción de desempeño en aspectos clave. A partir de estos agrupamientos, se elaboraron tablas de frecuencia, gráficos comparativos y medidas de tendencia central que permitieron visualizar patrones generales en la experiencia del usuario.

Por su parte, la información proveniente de las entrevistas fue transcrita y codificada manualmente en categorías temáticas, las cuales fueron definidas previamente con base en los objetivos del estudio: eficiencia en el uso de recursos, prolongación de la vida útil del edificio, barreras para la adopción tecnológica y buenas prácticas observadas. La codificación de estas entrevistas permitió establecer relaciones entre los testimonios y contrastar las percepciones de los encargados técnicos con los datos recolectados de los usuarios, generando así una visión integral.

- **Análisis de los datos**

El análisis se realizó bajo una lógica de triangulación metodológica, combinando lo cuantitativo y lo cualitativo. Las encuestas aportaron datos generalizables sobre la experiencia de los usuarios, mientras que las entrevistas proporcionaron un entendimiento más profundo de las dinámicas internas de operación y mantenimiento. Esta combinación permitió corroborar hallazgos y detectar consistencias (o contradicciones) entre la percepción de los usuarios y la visión técnica de los responsables de sostenibilidad.

En cuanto al análisis estadístico, se utilizó Excel y R como herramientas principales, aplicando funciones como tablas dinámicas, gráficos de dispersión,

histogramas y porcentajes de frecuencia para representar visualmente los hallazgos más relevantes.

#### **10.1. Validación de los resultados**

Para fortalecer la validez de los hallazgos, se aplicó una técnica de validación cruzada entre las tres fuentes principales: (1) los datos cuantitativos de las encuestas, (2) los datos cualitativos de las entrevistas y (3) los registros documentales y operativos disponibles de cada edificio. Esta triangulación permitió construir una narrativa coherente que refleja la realidad de la implementación de tecnologías de información en edificios sostenibles dentro del contexto colombiano.

## **11. Desarrollo y cumplimiento de objetivos**

### **11.1. Desarrollo objetivo 1. Analizar cómo los sistemas de información actuales contribuyen a la gestión eficiente de los recursos en edificios sostenibles.**

Para cumplir con el Objetivo 1, se inicia con el análisis de la información obtenida a través de la búsqueda en Scopus, la cual permitió identificar las publicaciones científicas más relevantes relacionadas con la sostenibilidad en edificaciones. Este análisis aborda los aspectos clave sobre los países que lideran en investigación, las disciplinas más representadas en el ámbito de las edificaciones sostenibles y las colaboraciones internacionales que refuerzan el avance global en este campo. A continuación, se presentan los resultados detallados y las conclusiones derivadas de los clústeres y las gráficas obtenidas, que ofrecen una visión integral del panorama actual de la sostenibilidad en la investigación científica.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos mediante la búsqueda realizada en Scopus, utilizando la siguiente ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY (information AND systems AND implemented AND in AND sustainable AND buildings).

El resultado de la búsqueda fue de 401 artículos. A partir de estos resultados, se seleccionaron aquellos datos más pertinentes, lo que permitió llevar a cabo un análisis profundo y presentar las siguientes conclusiones:

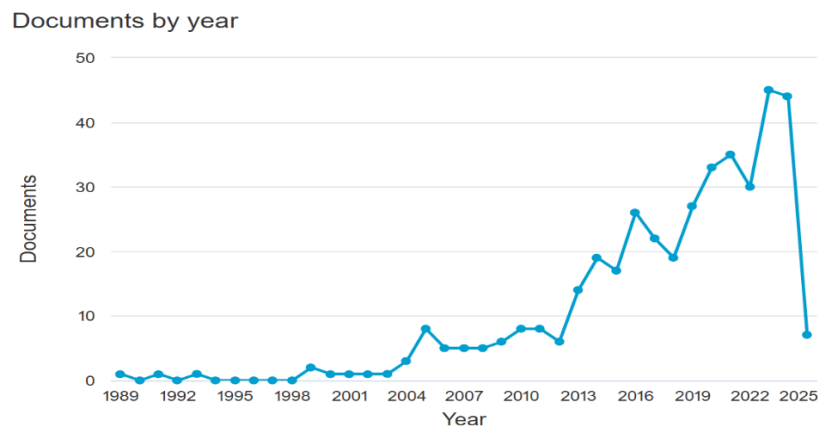
En las gráficas siguientes se presenta un análisis de los países que han generado la mayor cantidad de publicaciones sobre edificaciones sostenibles, así como el nivel de relevancia de este tema a nivel global. La primera gráfica ofrece una comparación entre las publicaciones relacionadas con edificaciones sostenibles y otros temas vinculados a la sostenibilidad. Se observa que la sostenibilidad en el ámbito de la construcción es un

tema relevante en países de distintos continentes, lo que refleja el creciente interés mundial por implementar soluciones sostenibles en el sector. No obstante, Estados Unidos sobresale de manera significativa por la mayor cantidad de publicaciones en esta área, lo que sugiere que este país tiene un enfoque más consolidado y de mayor amplitud en la investigación y desarrollo de soluciones sostenibles aplicadas a la edificación.

Este hallazgo subraya la importancia de los esfuerzos globales, destacando a Estados Unidos como líder en la producción de conocimiento sobre edificaciones sostenibles.

**Figura 2.**

*Análisis a nivel global de los líderes en producción académica y científica*



*Nota:* Elaboración propia

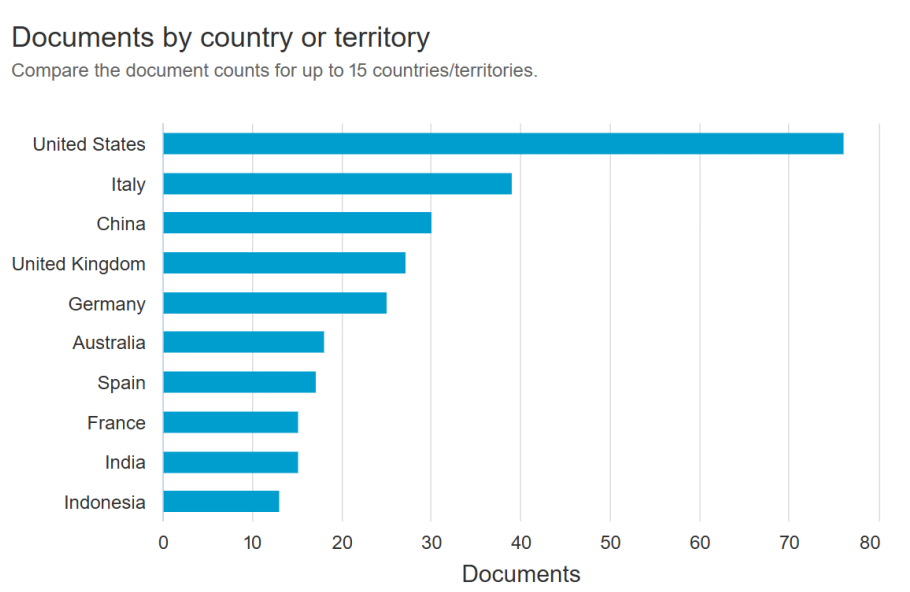
Esta visualización permite identificar las naciones que están liderando la producción académica y científica sobre sostenibilidad, reflejando su compromiso con la investigación y el desarrollo de soluciones sostenibles.

Se puede notar que ciertos países tienen una participación destacada en comparación con otros, lo que podría indicar la asignación de recursos más sustanciales hacia investigaciones relacionadas con la sostenibilidad, así como la presencia de

políticas gubernamentales o iniciativas académicas que favorecen este tipo de investigaciones. La gráfica también pone de manifiesto el papel clave de los países con mayor desarrollo tecnológico y económico, los cuales impulsan con mayor fuerza los avances en el sector de la sostenibilidad.

**Figura 3.**

*Documentos científicos publicados por países o territorios*



*Nota:* Elaboración propia

De la gráfica anterior, se puede concluir que Estados Unidos lidera las publicaciones científicas sobre sostenibilidad por varias razones clave que explican su prominencia en este campo

Inversión en investigación y desarrollo: Estados Unidos destina importantes recursos a la investigación científica, destacando universidades de renombre como el MIT, Stanford y Harvard, que cuentan con programas avanzados en sostenibilidad. Además, agencias como la NASA, la EPA (Agencia de Protección Ambiental) y el DOE (Departamento de Energía) financian y promueven proyectos relacionados con la

sostenibilidad. Este apoyo institucional es crucial para el desarrollo de soluciones innovadoras en sostenibilidad.

**Alta producción científica:** El país cuenta con una extensa red de instituciones académicas y centros de investigación que generan un volumen significativo de publicaciones científicas en diversas áreas, incluida la sostenibilidad. La combinación de recursos académicos, tecnológicos y humanos en estos centros contribuye a una constante generación de conocimiento en este ámbito.

**Conciencia regulatoria y empresarial:** Aunque las políticas ambientales varían con cada administración, existe una fuerte presión desde el sector privado y la sociedad civil para abordar la sostenibilidad. Empresas destacadas como Tesla, Google y Apple han sido pioneras en el desarrollo de tecnologías de energía renovable y en la construcción de edificios verdes. Esta sinergia entre el sector privado y las iniciativas gubernamentales favorece la investigación en sostenibilidad y aumenta la visibilidad del tema.

**Infraestructura de publicación:** Estados Unidos es hogar de muchas revistas científicas de alto impacto, lo que facilita la publicación de investigaciones y asegura que los estudios realizados en el país tengan una mayor difusión global. Este acceso a revistas de prestigio también contribuye a la percepción de liderazgo de Estados Unidos en el campo de la sostenibilidad (Martínez, 2017).

**Colaboraciones internacionales:** El país participa activamente en proyectos internacionales relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad, obteniendo financiamiento tanto del sector público como del privado. Estas colaboraciones refuerzan la capacidad de Estados Unidos para impulsar la investigación global en sostenibilidad y permiten el intercambio de conocimientos con otras naciones (Worldwildlife.org, 2023).

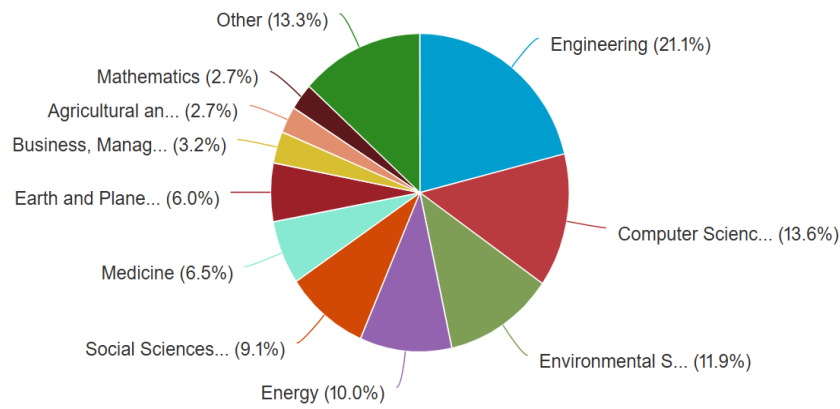
Estos factores combinados explican el destacado interés y liderazgo de Estados Unidos en temas de sostenibilidad, lo que se refleja en su alta producción de

publicaciones científicas, superando a otros países, tanto europeos como asiáticos, en este campo.

**Figura 4.**

*Análisis en las áreas de conocimiento*

Documents by subject area



*Nota:* Elaboración propia

En la gráfica anterior, se muestra que los campos de ingeniería, ciencias de la computación y ciencias ambientales son los más relevantes en relación con las edificaciones sostenibles, lo que subraya la importancia de la tecnología, la eficiencia energética y el impacto ambiental en este sector. A continuación, se detallan los porcentajes y su interpretación

**Ingeniería (21,1%):** La ingeniería es el campo más representado, ya que las edificaciones sostenibles requieren un enfoque técnico y de diseño que abarca varias ramas de la ingeniería, como la civil, mecánica, estructural, eléctrica y de materiales. Los profesionales de la ingeniería son fundamentales en la creación de infraestructuras eficientes, la optimización de recursos y el uso de tecnologías sostenibles que permiten minimizar el impacto ambiental de los edificios.

Ciencias de la Computación (13,6%): Este porcentaje refleja una participación significativa de las ciencias de la computación. Las herramientas informáticas son cruciales para modelar, analizar y optimizar edificaciones sostenibles, desde el uso de software especializado en la gestión energética hasta las simulaciones ambientales. La inteligencia artificial también juega un papel importante en la planificación y gestión de recursos, maximizando la eficiencia y reduciendo el consumo energético.

Otras áreas (13,3%): Este 13,3% abarca diversas disciplinas no clasificadas en las categorías anteriores, muchas de las cuales son interdisciplinarias. Es probable que esta categoría incluya campos como la arquitectura y el urbanismo, los cuales son esenciales en el diseño de edificios sostenibles y en la integración de los principios de sostenibilidad en el entorno urbano.

Ciencias Ambientales (11,9%): Las ciencias ambientales están estrechamente relacionadas con la sostenibilidad en la edificación, ya que se encargan de estudiar el impacto ambiental de las construcciones. Este campo trabaja en la identificación de materiales ecológicos, soluciones para la eficiencia energética, y formas de reducir el impacto negativo de las edificaciones sobre el medio ambiente.

Energía (10%): La eficiencia energética es un pilar fundamental en las edificaciones sostenibles. El sector de la energía tiene un rol decisivo en la integración de soluciones renovables como paneles solares y sistemas avanzados de eficiencia energética, esenciales para reducir el consumo y las emisiones de carbono en los edificios.

Ciencias Sociales (9,1%): Este porcentaje refleja el impacto de las ciencias sociales en la sostenibilidad de las edificaciones. Los aspectos relacionados con la planificación urbana, la aceptación social de tecnologías sostenibles y la evaluación de

necesidades comunitarias son cruciales para garantizar que los proyectos de edificación sostenible sean viables y beneficiosos a nivel social y cultural.

Medicina (6,5%): Aunque la medicina no está directamente vinculada con la construcción, su relación con la creación de ambientes saludables dentro de los edificios es importante. La calidad del aire interior, la ergonomía y el uso de materiales no tóxicos en la construcción son elementos clave para crear espacios que favorezcan el bienestar físico y mental de los usuarios.

Planificación (6%): Esta categoría involucra la planificación urbana y el uso del suelo, áreas esenciales para garantizar la sostenibilidad de las edificaciones a largo plazo. La planificación adecuada de las ciudades y la gestión eficiente de los recursos naturales permiten reducir el impacto ambiental y asegurar el uso adecuado del espacio.

Gestión Empresarial (3,2%): La gestión empresarial juega un papel relevante en la sostenibilidad de las edificaciones, especialmente en la gestión eficiente de proyectos, presupuestos y la adopción de prácticas sostenibles dentro del sector de la construcción. La integración de principios de sostenibilidad en la gestión empresarial es clave para garantizar que los proyectos se desarrollen de manera responsable y eficiente.

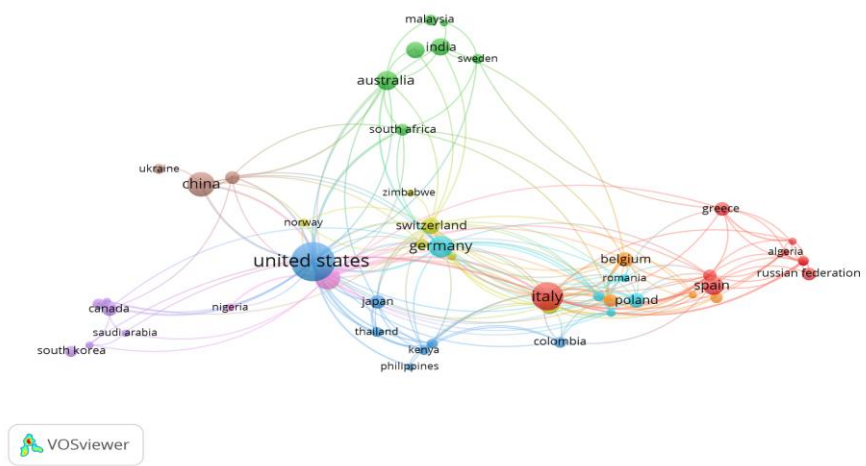
Agricultura (2,7%): Aunque con un porcentaje menor, la agricultura también está relacionada con la sostenibilidad de los edificios. Esto puede incluir la integración de técnicas agrícolas urbanas, como la agricultura vertical, en los edificios, así como el uso de materiales orgánicos y sostenibles en la construcción.

Matemáticas (2,7%): Las matemáticas tienen un papel clave en la optimización de recursos y en el modelado de sistemas en edificaciones sostenibles. El uso de algoritmos para maximizar la eficiencia de los recursos y la distribución energética es una aplicación importante para mejorar el rendimiento de las edificaciones sostenibles.

En resumen, estas disciplinas muestran cómo la sostenibilidad en la construcción no es un campo aislado, sino que involucra un enfoque interdisciplinario que abarca desde la ingeniería hasta las ciencias sociales, la medicina, la planificación urbana y más. La colaboración entre estos campos es esencial para lograr edificaciones más eficientes, sostenibles y socialmente responsables.

**Figura 5.**

*Análisis de diagrama de clúster con respecto a los países con mayor implementación de la sostenibilidad influyendo su investigación.*



*Nota:* Elaboración propia

En el diagrama de clúster de color azul, se observa que Estados Unidos lidera en publicaciones científicas sobre sostenibilidad gracias a varios factores clave:

1. Fuerte inversión en investigación y desarrollo: Estados Unidos destina grandes recursos a la investigación científica, lo que se refleja en su producción de publicaciones y avances en áreas como la sostenibilidad.

2. Alta producción científica: El país cuenta con instituciones académicas y centros de investigación que generan un volumen significativo de publicaciones en el área de la sostenibilidad.

3. Conciencia empresarial y regulatoria: Las políticas ambientales, impulsadas por el sector privado y la sociedad civil, junto con las iniciativas gubernamentales, han fortalecido el enfoque hacia la sostenibilidad en Estados Unidos.

4. Infraestructura de publicación: Muchas de las revistas científicas de alto impacto en sostenibilidad tienen su sede en Estados Unidos, lo que facilita la difusión de investigaciones realizadas en el país.

5. Colaboraciones internacionales: A pesar de su liderazgo, Estados Unidos no actúa de manera aislada. Colabora estrechamente con países como Japón, Nigeria, Filipinas, Colombia, Tailandia y Kenia, trabajando en áreas clave como el cambio climático, la energía renovable y las edificaciones sostenibles. Estas alianzas fomentan el intercambio de conocimientos y la creación de soluciones innovadoras que benefician a la comunidad global.

Este enfoque colaborativo tiene un impacto positivo a largo plazo, ya que permite que las mejores prácticas y tecnologías innovadoras se compartan y adapten a diferentes contextos nacionales. El liderazgo de Estados Unidos en sostenibilidad está, por lo tanto, reforzado por una red de colaboración internacional que impulsa el avance de la investigación y las soluciones sostenibles.

En el clúster de color rojo, se muestra que, aunque Italia, España, Rusia, Grecia y Argelia tienen una menor producción de publicaciones científicas sobre sostenibilidad en comparación con Estados Unidos, estos países siguen desempeñando un papel importante, especialmente dentro de sus respectivas regiones. Cada uno de estos países tiene enfoques propios y prioridades de investigación adaptadas a sus necesidades



En el diagrama de clúster anterior y según los temas asociados en los artículos consultados, el más comúnmente abordado es el desarrollo sostenible (clúster verde), que constituye el enfoque principal. Aunque también se trabaja en sistemas de información sostenible, la sostenibilidad sigue siendo el tema central. El clúster rojo destaca temas como edificaciones inteligentes, dióxido de carbono e Internet de las Cosas, todos relacionados con la eficiencia energética. Los autores exploran cómo estos temas se integran en la creación de edificios inteligentes. Por otro lado, el clúster azul se centra en los aspectos humanos, especialmente en África, abordando temas como la calidad de vida y la salud.

Como resultado del proceso de recolección de información, el cual se llevó a cabo a través del trabajo de campo y la consulta de diversas fuentes bibliográficas, se presenta a continuación el análisis y procesamiento de los resultados obtenidos. Estos se han organizado conforme a los objetivos específicos del estudio, permitiendo una mejor estructuración y comprensión de los hallazgos. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en relación con cada uno de los objetivos planteados.

#### **11.1.1. Resultados Obtenidos Objetivo 1**

Con el fin de dar cumplimiento al primer objetivo de la investigación, se llevó a cabo un proceso de recopilación, organización y análisis de la información disponible en torno a los sistemas y herramientas vinculadas al estudio. Dicho proceso permitió identificar aspectos relevantes que aportan a la comprensión del estado actual de las soluciones existentes, así como a la evaluación de su pertinencia frente al contexto de la investigación

#### **11.1.2. Análisis de software existentes**

Así mismo, en cumplimiento con el Objetivo 1, se realiza una clasificación de los softwares mencionados a continuación desde diferentes aspectos clave relacionados con la sostenibilidad en edificaciones. Este análisis tiene como propósito identificar las principales aplicaciones que se alinean con los objetivos de la investigación, proporcionando una visión clara de cómo cada herramienta contribuye al cumplimiento de los propósitos del estudio. A través de esta clasificación, se facilita una mejor comprensión de su impacto, utilidad y aplicabilidad, permitiendo evaluar cómo cada software apoya el avance de soluciones tecnológicas en el ámbito de la construcción sostenible.

A continuación, la tabla 12 presenta las principales aplicaciones implementadas, destacando sus características más relevantes y cómo contribuyen al desarrollo y optimización de edificaciones sostenibles.

**Tabla 12.**

*Ficha de identificaciones de aplicaciones implementadas en el área de la gestión de edificaciones sostenibles.*

APLICACIÓN	PROVEEDOR	CARÁCTERÍSTICAS	REQUERIMIENTOS FÍSICOS
<b>Software de Sostenibilidad</b>	Innova Group	<p>Gestión de emisiones de Carbono: Mide las emisiones de carbono y las de gases de efecto invernadero.</p> <p>Descarbonización: crea los flujos de trabajo, asigna responsabilidades, realiza mediciones para indicadores eficaces para mostrar progresos.</p> <p>Genera Informes según necesidades del usuario.</p>	El Software fue diseñado y se encuentra alojado en la nube además utiliza Inteligencia Artificial.
<b>Software de sostenibilidad corporativa</b>	Greemko	<p>Digitaliza y automatiza diversos aspectos de la gestión ambiental, para cumplir con los objetivos de sostenibilidad de las empresas.</p> <p>Monitoriza los consumos de recursos, tales como la gestión eficiente del agua, la energía y los materiales o residuos.</p>	Software as a Service (SaaS) que permite utilizar menos recursos y mejores resultados debido a la digitalización.

APLICACIÓN	PROVEEDOR	CARÁCTERÍSTICAS	REQUERIMIENTOS FÍSICOS
<b>Software de Gestión de Energía Limpia</b>	RETScreen	<p>Realiza análisis detallados de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), identificando áreas de mejora y estrategias para reducir la huella de carbono y el impacto climático.</p>	
		<p>Facilita ejecutar acciones concretas de reducción y descarbonización personalizadas además de un continuo monitoreo del progreso y cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad.</p>	
		<p>Generación reportes e informes ambientales personalizados. Permite la planificación, la implementación, monitoreo y generación de informes de energía de bajo costo.</p>	<p>Requisitos del Sistema: Microsoft® Windows 8.1, Windows 10, Windows 11, Microsoft® .NET Framework 4.8 o superior</p>
<b>PlanGrid</b>	Autodesk	<p>Permite crear y gestionar planos de construcción, asegurando que se mantengan actualizados durante el ciclo de vida del edificio.</p>	<p>Plataforma: Disponible para iOS, Android y web.</p>
		<p>Facilita el seguimiento de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, con alertas y notificaciones.  Herramientas para la colaboración en equipo, lo que permite a los ingenieros y técnicos acceder a la información en tiempo real desde cualquier dispositivo.</p>	<p>Requisitos de hardware: Dispositivos móviles con acceso a internet y capacidad para ejecutar aplicaciones móviles.</p>
<b>Archibus</b>	Archibus, Inc	<p>Ofrece análisis de datos e informes detallados sobre el mantenimiento y la eficiencia energética de los edificios</p>	<p>Integración: Compatible con otro software de Autodesk y otras plataformas de gestión de proyectos.</p>
		<p>Gestión integral del ciclo de vida de los activos y el mantenimiento de edificios.  Funciones de planificación de mantenimiento preventivo, gestión de órdenes de trabajo y análisis de fallas.  Monitoreo y gestión de la sostenibilidad, incluyendo la eficiencia energética y el uso de recursos como el agua.</p>	<p>Plataforma: Web, compatible con navegadores como Chrome, Firefox, Safari, y Edge.  Requisitos de hardware: Servidores de alta capacidad para la base de datos, equipos de oficina con buena</p>

APLICACIÓN	PROVEEDOR	CARÁCTERÍSTICAS	REQUERIMIENTOS FÍSICOS
<b>Energy Star Portfolio Manager</b>	U.S. Environmental Protection Agency (EPA)	<p>Permite realizar auditorías y seguimientos de la normativa ambiental y de sostenibilidad.</p> <p>Informe en tiempo real sobre la eficiencia operativa, consumo energético, y gestión de materiales.</p> <p>Especializado en la medición y seguimiento del desempeño energético y de agua de los edificios.</p> <p>Facilita la comparación entre edificios, lo que ayuda a identificar áreas para mejorar la eficiencia energética.</p> <p>Ofrece un sistema de puntuación basado en el rendimiento energético, lo que permite obtener certificaciones como Energy Star.</p> <p>Proporciona informes detallados sobre el consumo energético y las emisiones de carbono.</p> <p>Herramientas para la gestión de auditorías energéticas y la implementación de estrategias de sostenibilidad.</p>	<p>conectividad a Internet.</p> <p>Integración: Compatible con herramientas de ERP como SAP, y sistemas de gestión de energía.</p> <p>Plataforma: Acceso web a través de navegadores estándar.</p> <p>Requisitos de hardware: Solo se necesita una conexión a Internet estable.</p> <p>Integración: Se integra con otros sistemas de monitoreo de energía y plataformas de sostenibilidad.</p>
<b>EcoReal</b>	EcoReal	<p>Permite gestionar todos los aspectos de la sostenibilidad de edificios, desde el consumo energético hasta la gestión de residuos.</p> <p>Ofrece herramientas para planificar y realizar mantenimientos preventivos de manera eficiente.</p> <p>Analiza el desempeño de las instalaciones en términos de eficiencia energética, emisiones de CO<sub>2</sub>, y ahorro de recursos.</p> <p>Seguimiento de las normativas ambientales y certificaciones de sostenibilidad como LEED y BREEAM.</p> <p>Visualización en tiempo real de los indicadores de sostenibilidad mediante cuadros de mando.</p>	<p>Plataforma: Disponible para la web y como aplicación móvil.</p> <p>Requisitos de hardware: Se recomienda un dispositivo móvil o computadora con acceso a Internet.</p> <p>Integración: Se integra con sistemas de gestión de edificios (BMS), soluciones de control energético, y plataformas de gestión de activos.</p>

APLICACIÓN	PROVEEDOR	CARÁCTERÍSTICAS	REQUERIMIENTOS FÍSICOS
<b>FacilityDude</b>	Dude Solutions	<p>Ofrece soluciones completas para la gestión de mantenimiento de instalaciones, con enfoque en la eficiencia energética.</p> <p>Gestiona órdenes de trabajo, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.</p> <p>Facilita la planificación de tareas y la automatización de procesos de mantenimiento.</p> <p>Funciones de análisis y generación de informes detallados sobre los costos de mantenimiento y mejoras sostenibles implementadas.</p> <p>Herramientas para evaluar el desempeño del edificio en términos de sostenibilidad y eficiencia.</p>	<p>Plataforma: Web, accesible desde dispositivos móviles y computadoras.</p> <p>Requisitos de hardware: Requiere dispositivos con acceso a Internet para el uso de la plataforma.</p> <p>Integración: Compatible con otros sistemas de gestión de instalaciones y plataformas de monitoreo energético.</p>
<b>FMX (Facility Management Express)</b>	FMX, Inc.	<p>Plataforma que permite gestionar el mantenimiento de edificios, tareas preventivas y correctivas, control de inventarios y más.</p> <p>Gestión de trabajos de mantenimiento relacionados con la sostenibilidad, con herramientas para el control del consumo energético y la gestión de residuos.</p> <p>Análisis de datos para evaluar la eficiencia operativa y el rendimiento energético de los edificios.</p> <p>Ofrece informes detallados y programaciones de mantenimiento automatizadas.</p> <p>Compatible con la certificación LEED, permitiendo realizar auditorías de sostenibilidad.</p>	<p>Plataforma: Web, accesible desde dispositivos móviles y computadoras.</p> <p>Requisitos de hardware: Requiere acceso a Internet; compatible con dispositivos móviles y equipos de escritorio.</p> <p>Integración: Integración con sistemas de gestión de propiedades y soluciones de IoT para edificios inteligentes.</p>
<b>iMaint</b>	iMaint Software	<p>Software de gestión de mantenimiento que cubre desde la programación de tareas preventivas hasta la gestión de órdenes de trabajo correctivas.</p> <p>Funcionalidades orientadas a la gestión de activos sostenibles, ayudando a reducir el consumo de</p>	<p>Plataforma: Disponible como software de escritorio y solución basada en la web.</p> <p>Requisitos de hardware: Servidores locales o en la nube,</p>

APLICACIÓN	PROVEEDOR	CARÁCTERÍSTICAS	REQUERIMIENTOS FÍSICOS
		<p>recursos y mejorar la eficiencia operativa.</p> <p>Generación de informes detallados sobre costos de mantenimiento, rendimiento de los equipos y eficiencia energética.</p> <p>Gestión de inventarios y recursos, ayudando a optimizar el uso de materiales y minimizar desperdicios.</p> <p>Seguimiento de las normativas ambientales y de sostenibilidad.</p>	<p>dispositivos con acceso a Internet.</p> <p>Integración: Compatible con sistemas ERP y soluciones de automatización de edificios.</p>
<b>MeisterPlan</b>	MeisterPlan GmbH	<p>Herramienta para la planificación de proyectos de mantenimiento a largo plazo, ayudando a gestionar recursos y tareas sostenibles.</p> <p>Ofrece análisis de la capacidad de los recursos y optimización de la programación de mantenimiento preventivo.</p> <p>Permite realizar un seguimiento de las iniciativas de sostenibilidad, como la eficiencia energética y la reducción de residuos.</p>	<p>Plataforma: Web, accesible desde dispositivos móviles y computadoras.</p> <p>Requisitos de hardware: Necesita conexión a Internet para el acceso en la nube.</p> <p>Integración: Compatible con herramientas de gestión de proyectos y plataformas de análisis de datos.</p>
<b>Sertis Maintenance</b>	Sertis Maintenance	<p>Plataforma especializada en la gestión energética y de sostenibilidad en edificios.</p> <p>Realiza un seguimiento del consumo de energía, agua y otros recursos.</p> <p>Permite realizar auditorías de sostenibilidad, gestionando el mantenimiento de las instalaciones desde un enfoque ecológico. Proporciona información en tiempo real sobre la eficiencia de los sistemas y las medidas implementadas para reducir la huella de carbono.</p>	<p>Plataforma: Web y compatible con dispositivos móviles.</p> <p>Requisitos de hardware: Acceso a Internet, dispositivos móviles o de escritorio.</p> <p>Integración: Compatible con sistemas de gestión energética y BMS.</p>

*Nota:* La siguiente tabla presenta un resumen de las principales características de las aplicaciones disponibles en el mercado para la gestión de edificaciones sostenibles.

### **11.1.3. Análisis y clasificación sistemas de información**

El presente análisis se fundamenta en información obtenida a partir de fuentes bibliográficas, estudios previos y una revisión exhaustiva de aplicaciones tecnológicas con el objetivo de evaluar diversas aplicaciones de software enfocadas en la sostenibilidad. En cumplimiento con el Objetivo 1 de la investigación, se realiza una clasificación de los softwares mencionados desde diferentes aspectos clave. Estos incluyen sus características principales, la distribución de su uso en distintos contextos empresariales y operativos, y su eficiencia en la implementación de soluciones sostenibles en el ámbito de las edificaciones. Este análisis permite identificar de manera más precisa cómo cada aplicación contribuye al cumplimiento de los objetivos establecidos en el estudio, facilitando una comprensión más profunda de su impacto y utilidad tanto a nivel académico como práctico.

A lo largo de este análisis, se comparan las herramientas desde una perspectiva crítica que considera tanto sus fortalezas como sus limitaciones. Se examina, en particular, cómo cada software puede ser utilizado en distintas fases del ciclo de vida de un edificio, desde la planificación y el diseño hasta la construcción, operación y, finalmente, la rehabilitación o demolición de edificaciones. Además, se evalúan las funcionalidades que permiten optimizar recursos, reducir el impacto ambiental, y mejorar la eficiencia energética, aspectos clave para la sostenibilidad en la edificación.

El análisis también se enfoca en la manera en que estas herramientas responden a las necesidades de los usuarios, ya sea en el contexto empresarial o institucional. Esto incluye su facilidad de implementación, el soporte técnico disponible, la adaptabilidad a diferentes tipos de proyectos y el costo-beneficio asociado con su adopción. Además, se examinan los enfoques de colaboración que algunas de estas aplicaciones facilitan, como la integración de datos de múltiples disciplinas (ingeniería, arquitectura, ciencias

ambientales, etc.) para lograr soluciones más integrales y efectivas en el ámbito de la sostenibilidad.

Este enfoque multidimensional no solo permite conocer las características y funcionalidades específicas de cada software, sino también su capacidad para generar un cambio real en la forma en que se diseñan construye y gestionan las edificaciones, con el fin de hacerlas más sostenibles. Así, se busca identificar las herramientas más adecuadas que apoyen la transición hacia un modelo de construcción más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

A continuación, se presentan las principales aplicaciones implementadas, destacando cómo cada una contribuye al cumplimiento de los objetivos del estudio en términos de sostenibilidad, eficiencia energética, y reducción del impacto ambiental. Las aplicaciones son clasificadas según su área de enfoque, permitiendo una visualización clara de cómo cada herramienta se ajusta a los diferentes requisitos de la investigación.

#### Comparación de Características

En la tabla 13 se han identificado y clasificado las aplicaciones según funcionalidades clave en las siguientes categorías:

**Tabla 13.**

*Tabla de clasificación de acuerdo con las características de las aplicaciones*

<b>Software</b>	<b>Gestión Energética</b>	<b>Sostenibilidad Corporativa</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Planificación</b>	<b>Certificación Ambiental</b>
<b>PlanGrid</b>	No	Si	Si	Si	No
<b>Archibus</b>	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Energy Star Portfolio Manager</b>	Si	Si	No	No	Si
<b>EcoReal</b>	Si	Si	Si	Si	Si
<b>FacilityDude</b>	Si	Si	Si	Si	No

<b>Software</b>	<b>Gestión Energética</b>	<b>Sostenibilidad d Corporativa</b>	<b>Mantenimie nto</b>	<b>Planificació n</b>	<b>Certificaci ón Ambiental</b>
<b>FMX Facility Managemen t eXpress)</b>	Si	Si	Si	Si	No
<b>iMaint</b>	Si	No	Si	No	No
<b>MeisterPlan</b>	No	Si	No	Si	No
<b>Sertis Maintenance</b>	No	No	Si	No	No

*Nota:* presenta una clasificación de las aplicaciones disponibles en el mercado de acuerdo con sus principales características. Se incluyen aspectos como funcionalidades, alcance, compatibilidad y enfoque en la gestión de edificaciones sostenibles. Esta información permite comparar y seleccionar la aplicación más adecuada según las necesidades específicas del usuario.

**Conclusiones:**

Mayor cobertura funcional: EcoReal y Archibus abarcan todas las categorías.

Especialización en energía y certificación: Energy Star Portfolio Manager destaca en estos aspectos.

Software centrado en mantenimiento: iMaint y Sertis Maintenance están optimizados para esta tarea.

En la tabla 14 distribución de Uso Se analiza el uso de estas aplicaciones en distintas escalas organizativas

**Tabla 14.**

*Tabla de clasificación de acuerdo a la implementación en el tamaño de las empresas.*

<b>Software</b>	<b>Grandes Empresas</b>	<b>Medianas Empresas</b>	<b>Pequeñas Empresas</b>
-----------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------

<b>PlanGrid</b>	Si	Si	No
<b>Archibus</b>	Si	Si	No
<b>Energy Star Portfolio Manager</b>	Si	Si	Si
<b>EcoReal</b>	Si	Si	Si
<b>FacilityDude</b>	Si	Si	Si
<b>FMX</b>	Si	Si	Si
<b>IMaint</b>	Si	Si	No
<b>MeisterPlan</b>	Si	Si	No
<b>Sertis Maintenance</b>	Si	Si	No

*Nota:* Esta tabla presenta una clasificación de las aplicaciones disponibles en el mercado según tres criterios clave: grandes empresas, medianas empresas y pequeñas empresas

Conclusiones:

- Software versátil: Energy Star Portfolio Manager, EcoReal y FMX son utilizados tanto por grandes como pequeñas empresas.
- Herramientas para empresas grandes y medianas: Archibus, MeisterPlan e iMaint son más adecuados para estructuras organizativas de mayor tamaño.
- Evaluación de Eficiencia Para evaluar la eficiencia, se consideran tres factores: facilidad de uso, relación costo-beneficio y nivel de automatización.

En la tabla 15, se logra identificar con las características de las con respecto a factibilidad, costo beneficio, automatización.

**Tabla 15.**

*Tabla de clasificación de acuerdo con las características de las con respecto a factibilidad, costo beneficio, automatización.*

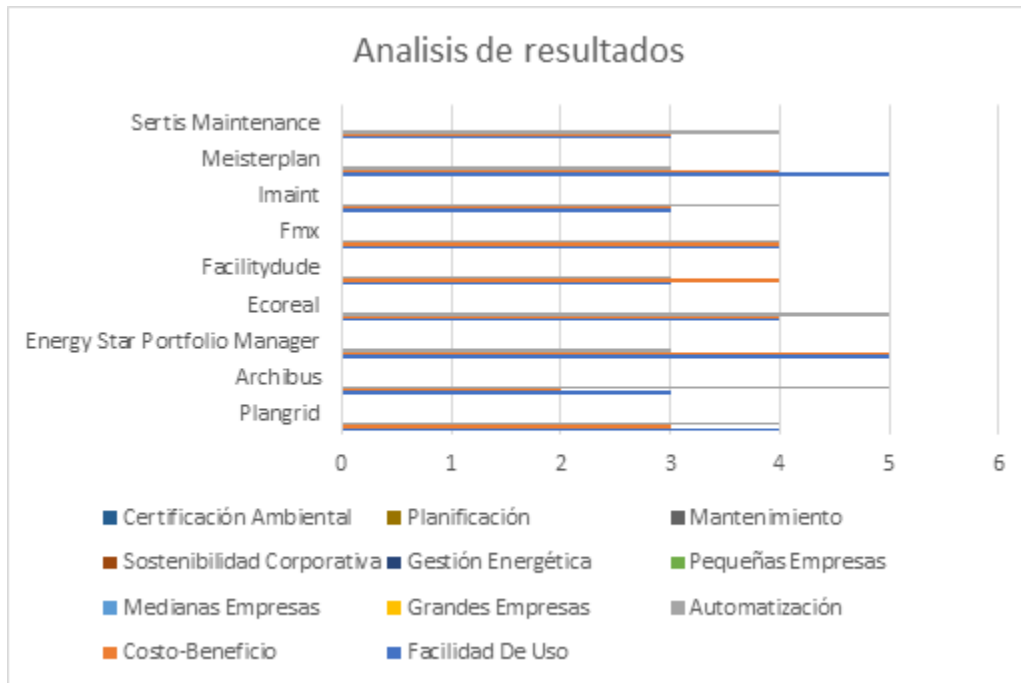
<b>Software</b>	<b>Facilidad De Uso</b>	<b>Costo- Beneficio</b>	<b>Automatización</b>
<b>Plangrid</b>	4	3	4
<b>Archibus</b>	3	2	5
<b>Energy Star Portfolio Manager</b>	5	5	3
<b>Ecoreal</b>	4	4	5
<b>Facilitydude</b>	3	4	3
<b>Fmx</b>	4	4	4
<b>Imaint</b>	3	3	4
<b>Meisterplan</b>	5	4	3
<b>Sertis Maintenance</b>	3	3	4

*Nota:* Esta tabla presenta una clasificación de las aplicaciones disponibles en el mercado según tres criterios clave: factibilidad, costo-beneficio y nivel de automatización. Esta clasificación permite analizar y comparar las distintas opciones, facilitando la selección de la herramienta más adecuada para la gestión eficiente de edificaciones sostenibles.

En la Figura 7 se presentan las mediciones y resultados obtenidos de las principales aplicaciones implementadas. El análisis se llevó a cabo considerando diversos aspectos, tales como la automatización, la facilidad de uso, la relación costo-beneficio y el nivel de implementación en el mercado

**Figura 7.**

Análisis de resultados aplicaciones



*Nota:* Elaboración propia

- Mayor relación costo-beneficio: *Energy Star Portfolio Manager* y *EcoReal* ofrecen las mejores prestaciones en este sentido.
- Software con mayor automatización: *Archibus* y *EcoReal* cuentan con un alto nivel de automatización.
- Herramientas más intuitivas: *Energy Star Portfolio Manager* y *MeisterPlan* son los más fáciles de usar.

**Conclusión General El análisis revela que:**

- *EcoReal* y *FMX* son opciones equilibradas, con alta automatización y buen costo-beneficio.
- *Energy Star Portfolio Manager* es ideal para pequeñas y medianas empresas por su facilidad de uso.
- *Archibus* es una solución robusta para grandes empresas con necesidades avanzadas de automatización.

**Análisis Enfocado En Colombia**

En Colombia, diversas aplicaciones de software enfocadas en la sostenibilidad y la gestión de energía limpia han sido implementadas para optimizar el consumo energético y promover prácticas empresariales responsables. A continuación, se destacan algunas de las principales herramientas utilizadas en el país.

- Clarity™

Esta aplicación ayuda a los gerentes de planta a reducir el consumo de energía, mejorar el rendimiento y aumentar el tiempo de actividad de los equipos.

- Soluciones Digitales de Anthesis

Anthesis ofrece herramientas innovadoras que permiten a las empresas colombianas cumplir con objetivos medioambientales, sociales y de gobernanza (ESG), optimizando estrategias de descarbonización y garantizando la transparencia en la cadena de suministro.

- BIA Energy

Esta plataforma utiliza tecnología avanzada para la optimización energética, ofreciendo control inteligente y tarifas personalizadas, facilitando la innovación en el consumo de energía en Colombia.

- SIGEA Software

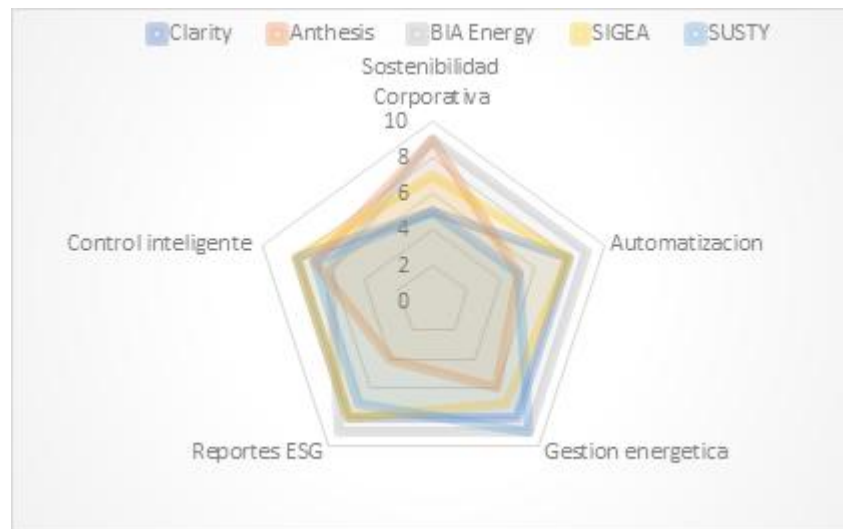
Incorpora una visión de sostenibilidad corporativa, permitiendo a las empresas colombianas gestionar eficientemente a sus stakeholders y controlar riesgos asociados, asegurando la sostenibilidad del negocio.

- SUSTY

Plataforma de gestión sostenible corporativa que permite a las empresas generar todos sus reportes de sostenibilidad en un solo lugar, de manera eficiente y sencilla.

**Figura 8.**

*Comparación de aplicaciones en sostenibilidad*



*Nota:* Elaboración propia

Se observa que BIA Energy y Clarity destacan en gestión energética y control inteligente, mientras que Anthesis, SIGEA y SUSTY tienen un fuerte enfoque en sostenibilidad corporativa y reportes ESG.

Tras analizar diferentes aplicaciones de software enfocadas en sostenibilidad y gestión energética en Colombia, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- **Tendencias en la Adopción del Software**

Aumento del uso de tecnologías digitales: Empresas en Colombia están adoptando cada vez más software especializado en sostenibilidad y gestión energética para optimizar el consumo de recursos y cumplir con regulaciones ambientales.

Enfoque en sostenibilidad corporativa: Aplicaciones como Anthesis, SIGEA y SUSTY han ganado relevancia por su capacidad para gestionar reportes ESG y riesgos ambientales, alineándose con las exigencias de transparencia empresarial.

Control y optimización energética: Herramientas como Clarity y BIA Energy son ampliamente utilizadas por su capacidad para reducir el consumo de energía y mejorar la eficiencia operativa mediante automatización y control inteligente.

- **Comparación de Funcionalidades**

Mayor automatización: Clarity y BIA Energy destacan por su alto grado de automatización y control inteligente, lo que las hace ideales para la gestión energética en empresas industriales y de servicios.

Soluciones más equilibradas: Anthesis y SIGEA ofrecen una combinación de gestión ambiental y corporativa, ayudando a las empresas a cumplir con normativas de sostenibilidad y mejorar la transparencia.

Especialización en reportes y normativas: SUSTY se distingue por su enfoque en la generación de reportes de sostenibilidad, facilitando a las empresas la presentación de informes ESG y cumplimiento normativo.

- **Distribución de Uso en Empresas Colombianas**

Grandes empresas: Son las principales usuarias de estas plataformas, ya que buscan optimizar procesos y mejorar su eficiencia energética y sustentabilidad.

Empresas medianas: También han comenzado a adoptar estos sistemas, *especialmente aquellos que ofrecen un buen balance entre costo y beneficios, como SIGEA y BIA Energy.*

Empresas pequeñas: Aunque su adopción aún es limitada, algunas herramientas como SUSTY y Energy Star Portfolio Manager pueden ser útiles debido a su facilidad de implementación y uso.

- **Evaluación de Eficiencia**

Mejor costo-beneficio: Energy Star Portfolio Manager y EcoReal destacan en este aspecto al ofrecer soluciones accesibles con buenas prestaciones.

Software más intuitivo: MeisterPlan y Energy Star Portfolio Manager son más fáciles de usar, lo que facilita su adopción en empresas con menos experiencia en estos sistemas.

Mayor automatización: Archibus y EcoReal sobresalen en automatización, ayudando a mejorar la eficiencia energética con menor intervención manual.

El análisis evidencia que el uso de software de sostenibilidad y gestión energética en Colombia está en crecimiento, con aplicaciones enfocadas en distintos nichos según las necesidades de las empresas. Empresas con alto consumo energético (industrias, servicios públicos) deberían optar por Clarity o BIA Energy para maximizar su eficiencia operativa. Corporaciones que buscan mejorar su responsabilidad ambiental pueden beneficiarse de herramientas como Anthesis y SIGEA, que facilitan la integración de estrategias de sostenibilidad.

Negocios que necesitan cumplir con normativas ESG encontrarán en SUSTY una opción clave para la generación de reportes. El futuro del software de sostenibilidad en Colombia apunta hacia una mayor digitalización, automatización e integración con regulaciones ambientales, lo que impulsará aún más su adopción en el sector empresarial.

Para finalizar, es importante resaltar que la información utilizada para describir las funcionalidades de los sistemas de información se obtuvo principalmente de las fuentes oficiales de los fabricantes, dado que constituyen la referencia primaria sobre las características técnicas de cada software. No obstante, el propósito de este análisis no radica en promover marcas específicas, sino en destacar la importancia de implementar sistemas de información en edificaciones sostenibles como apoyo para el registro estadístico, el control de los recursos y la eficiencia en la gestión operativa. De manera complementaria, las entrevistas realizadas a los responsables de la administración de

este tipo de edificaciones que se van a describir en el desarrollo del Objetivo 2, van a permitir identificar los sistemas efectivamente utilizados, así como las ventajas y beneficios percibidos en su aplicación cotidiana, lo que aporta mayor objetividad y respaldo al comparativo realizado.

### **11.2. Desarrollo Objetivo 2. Evaluar el impacto de la integración de sistemas de información en la prolongación de la vida útil de los edificios sostenibles**

Para evaluar el impacto de la integración de sistemas de información en la prolongación de la vida útil de edificaciones sostenibles, se diseñó una estrategia metodológica centrada en la recolección de datos de una muestra representativa. Se tomó como base una población total estimada de 4,518 personas, que incluye administradores, propietarios y usuarios de seis edificaciones seleccionadas por sus características sostenibles: Edificio Ean Legacy, Edificio Seguridad Superior, El Edén Centro Comercial, Novartis New Building, Colegio Rochester y el Edificio Corporativo de Amarilo.

El cálculo del tamaño de la muestra se realizó utilizando la fórmula propuesta por Conover (1999), ideal para poblaciones relativamente pequeñas, como la que se presenta en este estudio. La selección de las edificaciones se sustentó en los criterios establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 1700, específicamente en su numeral 4.9.5.2, que define un área mínima bruta de 27 m<sup>2</sup> por persona para ocupaciones mixtas (residencial, comercial y educativa). A partir de este parámetro, se estimó la capacidad de ocupación de cada edificio, considerando únicamente áreas de uso continuo, como aulas, oficinas y locales comerciales.

De los seis edificios analizados, se tiene previsto realizar un trabajo de campo más detallado en al menos tres, estableciendo contacto con los responsables de su

gestión. En estos espacios se aplicarán encuestas a los usuarios y entrevistas a los gestores, buscando recopilar información cualitativa y cuantitativa que permita comprender de manera integral cómo la implementación de sistemas de información ha contribuido a extender la vida útil de las infraestructuras sostenibles y optimizar su funcionamiento.

Este enfoque no solo asegura la representatividad de los datos, sino que también permite abordar el análisis desde múltiples perspectivas, considerando tanto la experiencia de quienes administran los espacios como la de quienes los utilizan a diario.

En el marco de este proyecto, que se enfoca en el análisis de los sistemas de información de mantenimiento implementados en edificaciones con certificación LEED, es fundamental comprender qué implica esta certificación y sus características clave. La certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es un sistema de calificación ecológica desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC) que establece estándares internacionales para la construcción y operación de edificaciones sostenibles. LEED tiene como objetivo promover prácticas de construcción que minimicen el impacto ambiental, mejoren la eficiencia energética y promuevan la salud y el bienestar de los ocupantes.

Obtener la certificación LEED no solo representa un reconocimiento de las prácticas sostenibles en una edificación, sino que también requiere el cumplimiento de un conjunto riguroso de criterios que abarcan todo el ciclo de vida del edificio, desde la concepción y el diseño hasta la construcción, operación y mantenimiento. Los edificios certificados LEED deben cumplir con requisitos específicos en áreas clave como el uso eficiente de energía, la gestión adecuada del agua, la calidad del aire interior, la selección de materiales sostenibles, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la optimización del uso de recursos.

- **Características de la Certificación LEED**

La certificación LEED se otorga a los edificios que cumplen con estándares específicos en siete categorías fundamentales de sostenibilidad. Estas categorías son las siguientes:

- **Ubicación y Transporte (16 puntos):** Este criterio evalúa la accesibilidad al transporte público, opciones de movilidad sostenible (como bicicletas y autos eléctricos) y el uso eficiente del suelo, minimizando el impacto en los ecosistemas circundantes.
- **Sitios Sostenibles (10 puntos):** Se enfoca en minimizar el impacto ambiental durante la construcción, la gestión eficiente de aguas pluviales y la reducción del efecto de isla de calor a través de la implementación de techos y pavimentos reflectantes.
- **Eficiencia en el Uso del Agua (11 puntos):** Se refiere a la reducción del consumo de agua potable mediante el uso de tecnologías eficientes en sanitarios y sistemas de riego, y la implementación de sistemas de reciclaje de aguas grises o captación de agua lluvia.
- **Energía y Atmósfera (33 puntos):** Esta categoría es crucial, ya que evalúa el uso de energías renovables, la eficiencia energética en iluminación y climatización, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y la implementación de sistemas inteligentes de gestión energética.
- **Materiales y Recursos (13 puntos):** Se enfoca en el uso de materiales reciclados o regionales, la gestión de residuos de construcción y el empleo de materiales con baja huella de carbono.
- **Calidad del Ambiente Interior (16 puntos):** Esta categoría evalúa la calidad del aire interior, la ventilación, el uso de materiales con bajo contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV), así como la iluminación natural y el confort térmico para los ocupantes.
- **Innovación en el Diseño (6 puntos):** Se refiere a la aplicación de soluciones innovadoras en sostenibilidad, así como el desarrollo de estrategias que exceden los requisitos mínimos establecidos por LEED.
- **Prioridad Regional (4 puntos):** Reconoce las estrategias sostenibles adaptadas a las condiciones climáticas y ambientales locales, lo que

permite que los proyectos sean más relevantes y efectivos en su contexto específico.

- **Niveles de Certificación LEED**

La certificación LEED se clasifica en cuatro niveles, según el puntaje obtenido en las categorías mencionadas. Los niveles son:

- LEED Certificado (40-49 puntos): Indica que el edificio ha cumplido con los requisitos mínimos de sostenibilidad, logrando un puntaje de 40 a 49 puntos.
- LEED Plata (50-59 puntos): Este nivel refleja la implementación de prácticas sostenibles más avanzadas, incluyendo la eficiencia en el uso de energía y agua, el manejo de residuos y la calidad del aire interior.
- LEED Oro (60-79 puntos): Se otorga a los edificios que cumplen con un conjunto más riguroso de criterios de sostenibilidad. Este nivel es altamente respetado y representa un compromiso notable con la sostenibilidad.
- LEED Platino (80-110 puntos): Este es el nivel más alto de certificación, alcanzado solo por los edificios que implementan prácticas excepcionales en todas las áreas de sostenibilidad, incluyendo la eficiencia energética, la selección de materiales sostenibles, la calidad del aire interior y la innovación en diseño.

- **La Importancia de LEED en la Construcción Sostenible**

La certificación LEED es un estándar reconocido internacionalmente que no solo garantiza un alto nivel de desempeño ambiental en los edificios, sino que también ofrece beneficios tangibles para los propietarios y ocupantes. Estos beneficios incluyen la reducción de los costos operativos debido a la eficiencia energética, la mejora de la calidad del aire interior, el aumento del valor de la propiedad, y la creación de espacios más saludables y cómodos para los usuarios. Además, los edificios con certificación LEED suelen atraer a inquilinos que valoran el compromiso con el medio ambiente, lo que puede resultar en una mayor demanda y un retorno de inversión positivo.

En el contexto de este proyecto, la comprensión de los requisitos y las características de la certificación LEED es crucial para evaluar cómo los sistemas de

información de mantenimiento implementados en estos edificios contribuyen al mantenimiento continuo de los estándares de sostenibilidad. Los sistemas de información de mantenimiento bien implementados son esenciales para asegurar que los edificios sigan cumpliendo con los criterios de LEED a lo largo de su vida útil, maximizando los beneficios ambientales, operativos y económicos de los edificios sostenibles.

A continuación, se presenta un análisis de diversas edificaciones que han logrado la certificación LEED, evaluando sus características y los resultados obtenidos a través de sus informes de sostenibilidad. En este contexto, se destacan los siguientes edificios que han alcanzado diferentes niveles de certificación LEED:

- Edificio EAN – Certificación LEED Oro
- Centro Comercial El Edén – Certificación LEED Platino
- Novartis New Building – Certificación LEED Oro
- Colegio Rochester – Certificación LEED Platino
- Edificio Corporativo Amarilo – Certificación LEED Platino

Estos edificios sirven como ejemplos representativos del éxito de los sistemas de gestión implementados en la construcción sostenible, además de proporcionar un análisis detallado sobre su desempeño en las áreas clave evaluadas por LEED. A través de este análisis, se pretende mostrar cómo cada uno de estos edificios ha logrado cumplir con los rigurosos requisitos establecidos por la certificación LEED y cómo sus características influyen en los resultados de sostenibilidad obtenidos.

#### **11.2.1. Edificio corporativo Amarilo**

A continuación, un resumen consolidado de los avances y ahorros reportados por Amarilo en sus informes de sostenibilidad de 2021, 2022 y 2023, basado en las tendencias y enfoques que se destacaron en esos informes. Este resumen incluye los principales avances en sostenibilidad y los ahorros logrados en sus operaciones, así como sus esfuerzos en la reducción del impacto ambiental y social.

- **Construcción Sostenible y Uso de Materiales Ecológicos:**

- Avances: Amarilo continuó implementando prácticas de construcción sostenible, utilizando materiales más eficientes y de menor impacto ambiental. La empresa probablemente consolidó proyectos con certificaciones ambientales como LEED o EDGE, que garantizan la eficiencia energética y el uso de recursos sostenibles en sus edificaciones.
- Ahorros: Al optar por materiales y procesos más sostenibles, Amarilo logró ahorros a largo plazo en costos operativos de sus desarrollos, gracias a la reducción de consumo energético y la mejora en la gestión de recursos en sus proyectos.

- **Reducción de la Huella de Carbono**

- Avances: En los informes de 2022 y 2023, Amarilo probablemente presentó un enfoque estratégico para reducir su huella de carbono. Esto incluyó la adopción de energías renovables en sus proyectos, la implementación de tecnologías de eficiencia energética y la optimización en el uso de recursos naturales.
- Ahorros: La implementación de estas estrategias permitió a la empresa no solo reducir su impacto ambiental, sino también lograr ahorros económicos en consumo energético y reducción de emisiones, lo que además mejora su competitividad en un mercado cada vez más consciente del cambio climático.

- **Proyectos de Vivienda Sostenible y Responsabilidad Social**

- Avances: Amarilo continuó su compromiso con la vivienda de interés social y proyectos comunitarios. Estos esfuerzos se alinearon con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en los aspectos de ciudades sostenibles (ODS 11) y acción por el clima (ODS 13).
- Ahorros: La implementación de vivienda eficiente, con tecnologías que permiten el ahorro de energía y agua, proporcionó beneficios económicos a las familias que habitan los proyectos, además de ahorros operativos para la empresa en términos de costos a largo plazo asociados con el mantenimiento de los edificios.

- **Política de Biodiversidad y Restauración Ecológica**

- Avances: En 2023, Amarilo impulsó su Política de Biodiversidad 2024-2030, con la meta de restaurar y proteger 1,000 hectáreas de ecosistemas estratégicos. Esta política tiene como objetivo promover la conservación de la biodiversidad en las zonas donde la empresa desarrolla proyectos.
- Ahorros: Si bien la inversión inicial en la restauración ecológica puede ser considerable, los proyectos contribuyen a la mitigación de riesgos climáticos, como inundaciones o deslizamientos de tierra, lo que podría generar ahorros a largo plazo asociados con la reducción de estos riesgos. Además, contribuye a la mejora de la reputación de la empresa, lo que podría traducirse en beneficios económicos indirectos.

- **Innovación en la Gestión de Residuos y Economía Circular**

- Avances: En el ámbito de la economía circular, Amarilo implementó prácticas para reducir, reutilizar y reciclar los materiales de construcción, minimizando los residuos generados durante las obras. Este enfoque contribuye a la optimización de los recursos y la reducción de residuos.
- Ahorros: La gestión eficiente de residuos y la reutilización de materiales implican ahorros significativos tanto en costos operativos como en la reducción de las tarifas de disposición de desechos. Además, permite la optimización de inventarios, disminuyendo los costos asociados con la adquisición de nuevos materiales.

- **Mejoras en Gobernanza y Transparencia**

- Avances: Amarilo reforzó sus prácticas de gobernanza y transparencia, asegurando una mayor alineación con los estándares internacionales de ética corporativa y cumplimiento normativo. Esto incluyó la implementación de políticas más estrictas de compliance y la mejora en los mecanismos de auditoría y reporte.
- Ahorros: La mejora en la gobernanza y la reducción de riesgos legales asociados con el incumplimiento de normativas también generó ahorros indirectos, protegiendo a la empresa de posibles sanciones o litigios.

- **Impacto en la Comunidad y la Inclusión Social**

- Avances: Amarilo implementó una serie de programas de responsabilidad social empresarial (RSE) enfocados en mejorar el acceso a servicios básicos, infraestructura y educación en las comunidades donde opera.

Estos esfuerzos también se alinearon con los ODS relacionados con pobreza (ODS 1) y educación de calidad (ODS 4).

- Ahorros: A través de estas iniciativas, la empresa contribuyó a la reducción de desigualdades en las comunidades, lo que puede generar beneficios a largo plazo en términos de estabilidad social y en la creación de un entorno más favorable para futuras operaciones.

- **Resumen de Ahorros y Beneficios Logrados por Amarilo (2021-2023)**

- I. Ahorros Energéticos: Gracias a la eficiencia energética implementada en sus proyectos, Amarilo probablemente logró una reducción significativa en los costos operativos relacionados con el consumo de energía, tanto en sus edificios como en los procesos de construcción.
- II. Ahorros en Materiales y Gestión de Residuos: La economía circular permitió a la empresa reducir costos mediante la reutilización de materiales y la minimización de residuos, lo que no solo es beneficioso para el medio ambiente, sino también para sus finanzas.
- III. Ahorros Operativos a Largo Plazo: El enfoque en vivienda eficiente y proyectos sostenibles generó ahorros operativos tanto para los usuarios finales (familias que habitan los proyectos) como para la empresa, al reducir los costos asociados con mantenimiento y consumo de recursos.
- IV. Mitigación de Riesgos y Sostenibilidad a Largo Plazo: La restauración ecológica y la implementación de proyectos ambientalmente responsables también contribuyen a ahorros indirectos a través de la mitigación de riesgos relacionados con el cambio climático y los desastres naturales.

- V. Ahorros Legales y Reputacionales: El refuerzo en las prácticas de gobernanza y transparencia no solo minimizó riesgos legales, sino que también mejoró la reputación de la empresa, lo que podría atraer más clientes y colaboradores en el futuro.

Amarilo, a lo largo de 2021 a 2023, ha logrado importantes avances en sostenibilidad, tanto en términos de impacto ambiental como social, y ha implementado diversas estrategias que le han permitido generar ahorros directos e indirectos en varias áreas. Su enfoque en vivienda sostenible, gestión de residuos, energía eficiente, y biodiversidad no solo ha beneficiado al medio ambiente, sino que también ha proporcionado beneficios.

#### **11.2.2. Centro Comercial El Edén**

Para proporcionar un análisis más detallado de los informes de sostenibilidad de Centro Comercial El Edén en Bogotá durante los últimos tres años, vamos a revisar sus avances en diferentes áreas clave, basados en los informes disponibles, como gestión de residuos, uso eficiente de recursos, certificaciones, y el impacto social y ambiental.

- **Certificación LEED y Sostenibilidad en el Diseño y Construcción**

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es una de las certificaciones más reconocidas a nivel mundial para construcciones sostenibles. El Centro Comercial El Edén alcanzó la certificación LEED Platino en sus primeras etapas de construcción, lo cual resalta su compromiso desde el principio con la sostenibilidad.

- **Áreas de enfoque en la certificación LEED**

- **Energía y Atmósfera:** El Edén ha adoptado prácticas de eficiencia energética tanto en su diseño como en su operación. La incorporación de

sistemas de energía renovable y el uso de tecnologías eficientes en calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) ayudan a reducir el consumo energético del centro comercial.

- Uso del Agua: El centro comercial implementa sistemas de captación de agua lluvia y dispositivos de ahorro de agua en sus instalaciones, lo que contribuye significativamente a la reducción de consumo de este recurso.
- Materiales y Recursos: Se hace un uso eficiente de los materiales de construcción, priorizando aquellos que son reciclables, reciclados o de bajo impacto ambiental. Además, el centro comercial promueve la reutilización de materiales en su construcción y mantenimiento.
- Calidad del Aire Interior: Para garantizar un ambiente saludable para los visitantes y trabajadores, el Edén implementa sistemas avanzados de filtración de aire y materiales no tóxicos en su construcción.
- Innovación en el Diseño: El centro ha integrado soluciones innovadoras que superan los requisitos estándar de sostenibilidad, incluyendo la implementación de jardines en las azoteas y otras iniciativas que ayudan a mejorar la calidad del entorno urbano.

- **Gestión y Manejo de Residuos**

El manejo de residuos ha sido una de las prioridades del centro comercial. A lo largo de los años, El Edén ha implementado programas efectivos para la gestión de residuos y el reciclaje.

- **Recolección de Residuos de Posconsumo:** El Edén ha creado una infraestructura para la recolección de residuos que tradicionalmente no se gestionan en los

sistemas de reciclaje convencionales, tales como pilas, baterías, equipos electrónicos y envases de productos de cuidado personal. En 2020, El Edén recolectó más de 4,450 kg de estos residuos.

- **Compostaje:** A través de un programa de compostaje organizado, el centro comercial recicla sus residuos orgánicos, generando aproximadamente 33 toneladas de compost cada año. Este compost es utilizado para proyectos de recuperación de suelos en áreas afectadas por la deforestación y la erosión en Colombia.
- **Reciclaje de Plásticos y Otros Materiales:** En línea con su compromiso de reducir el impacto ambiental, El Edén implementó un sistema de reciclaje de plásticos y otros materiales reciclables, ayudando a reducir la cantidad de desechos que terminan en los vertederos.
- **Impacto Social y Programas Comunitarios**

Además de su enfoque ambiental, El Edén también ha tenido un fuerte enfoque en el impacto social y comunitario, promoviendo iniciativas que beneficien tanto a los empleados como a las comunidades cercanas.

- **Proyectos de Reforestación:** Como parte de su compromiso ambiental, El Edén ha participado en diversas iniciativas de reforestación. Por ejemplo, en 2022, participaron activamente en la siembra de más de 2,000 árboles a través de la organización Saving the Amazon. Estos esfuerzos contribuyen a la recuperación de ecosistemas y a la mejora de la biodiversidad en áreas afectadas.
- **Proyectos Educativos y de Capacitación:** El Edén también ha apoyado programas educativos enfocados en la conciencia ambiental. Además de organizar

actividades y eventos en el centro comercial, ha implementado iniciativas de capacitación para sus empleados y asociados comerciales en temas de gestión ambiental, reciclaje y responsabilidad social empresarial.

- Trabajo con Comunidades Vulnerables: En los últimos años, El Edén ha colaborado con organizaciones locales para ayudar a las comunidades vulnerables de Bogotá. Esto incluye proyectos de vivienda social y capacitaciones laborales que benefician a aquellos que más lo necesitan.

- **Recuperación Ecológica y Proyectos de Biodiversidad**

Un área clave de sostenibilidad en El Edén ha sido su trabajo en la recuperación ecológica y la preservación de la biodiversidad dentro del entorno urbano de Bogotá.

- Espacios Verdes: El Edén ha implementado jardines verticales y áreas verdes dentro de sus instalaciones. Además, se ha comprometido a sembrar especies nativas y a crear hábitats de biodiversidad que benefician a la fauna local.
- Recuperación del Canal del Río Fucha: El centro comercial ha llevado a cabo acciones de recuperación paisajística en la ronda del canal del río Fucha, donde se plantaron más de 127 árboles de especies nativas. Esto no solo mejora la estética del área, sino que también ayuda a restaurar el equilibrio ecológico en una zona urbana que históricamente ha estado sujeta a la degradación ambiental.

- **Reconocimientos y Distinciones**

A lo largo de los años, El Edén ha sido reconocido por sus esfuerzos de sostenibilidad. Entre los premios más destacados:

- Reconocimiento de Acecolombia: En 2021, El Edén recibió el segundo lugar a nivel de Bogotá y el tercer lugar en Colombia por su destacada gestión de

residuos y su compromiso ambiental. Este reconocimiento fue otorgado por la organización Acecolombia y el Grupo Retorna.

- **Certificación de Excelencia en Responsabilidad Social:** En 2022, El Edén recibió una mención especial por su impacto social positivo, especialmente en la creación de espacios de educación y participación para las comunidades cercanas.

- **Avances en la Gestión Energética**

El centro comercial también ha mostrado un fuerte compromiso con la gestión energética a través de diversas iniciativas de eficiencia energética:

- **Uso de Energías Renovables:** El Edén ha estado adoptando fuentes de energía renovable, como paneles solares y sistemas de energía eficiente para su funcionamiento, buscando reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables.
- **Eficiencia en el Uso de Energía:** Implementando sistemas de iluminación LED y control de la climatización, El Edén ha logrado reducir su consumo de energía, optimizando sus operaciones diarias.

El Centro Comercial El Edén ha mostrado avances significativos en sostenibilidad en los últimos años, destacándose en áreas como la gestión de residuos, la eficiencia energética, la recuperación ecológica, y su impacto social. A través de sus esfuerzos en la construcción verde (certificación LEED Platino), la implementación de programas ambientales innovadores y su compromiso con la comunidad, El Edén se ha posicionado como un referente en sostenibilidad en Bogotá.

Este enfoque integrado de sostenibilidad no solo responde a la necesidad de proteger el medio ambiente, sino que también tiene un impacto positivo en la comunidad, creando un modelo a seguir para otros centros comerciales en la ciudad y en el país.

### **11.2.3. Edificio Ean Legacy (Certificación LEED Oro)**

En 2021, el Edificio Ean Legacy obtuvo la certificación LEED en categoría Oro, reconocimiento otorgado por el programa internacional de certificación de edificios sostenibles. Esta distinción se logró gracias a su diseño arquitectónico basado en la filosofía Cradle to Cradle ("De la cuna a la cuna"), promovida por el arquitecto William McDonough.

- **Eficiencia Energética y Uso de Agua**

El diseño del edificio incorpora estrategias que resultan en

- **Ahorro Energético:** Una reducción del 32% en el consumo de energía, atribuida a la maximización del uso de luz y ventilación natural en el 95% de sus espacios.
- **Uso de Agua:** Una disminución del 35% en el consumo de agua potable, facilitada por sistemas que aprovechan el 100% del agua lluvia capturada para riego, descargas sanitarias y limpieza.

- **Gestión de Residuos en Construcción**

Durante su fase de construcción, el Edificio Ean Legacy implementó prácticas de gestión de residuos que permitieron la reutilización del 99% de los desechos generados, reflejando un fuerte compromiso con la sostenibilidad desde sus cimientos.

- **Innovaciones Arquitectónicas y Urbanísticas**

El edificio destaca por:

- **Diseño Arquitectónico:** Una estructura de diez pisos y 20,000 metros cuadrados, concebida bajo la filosofía Cradle to Cradle, que promueve la economía circular y la sostenibilidad en cada elemento constructivo.
- **Espacios Públicos:** La entrega de áreas públicas que fomentan la interacción social y el bienestar de la comunidad universitaria y vecina.

- **Reconocimientos y Participación en Premios**

El Edificio Ean Legacy ha sido reconocido en diversas plataformas:

- **Premios International Green Gown Awards:** Nominado en la categoría "Creating Impact", destacando su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, incluyendo salud y bienestar, educación de calidad, igualdad de género y energía asequible y no contaminante.

- **Eventos y Foros de Sostenibilidad**

En marzo de 2024, el Edificio Ean Legacy fue escenario del foro "Transiciones socio ecológicas: Urbanismo y Sostenibilidad en Bogotá", con la participación del diseñador inglés Thomas Heatherwick, promoviendo el diálogo sobre prácticas sostenibles en el urbanismo.

El Edificio Ean Legacy ejemplifica el compromiso de la Universidad Ean con la sostenibilidad, integrando prácticas ambientales, sociales y económicas en su diseño y operación. Estos esfuerzos no solo benefician a la comunidad universitaria, sino que también aportan al desarrollo sostenible de Bogotá y sirven como modelo para futuras construcciones sostenibles en Colombia.

#### **11.2.4. Colegio Rochester**

El Colegio Rochester ha realizado un esfuerzo continuo por ser un modelo de sostenibilidad, integrando en su infraestructura, programas educativos y operaciones diarias prácticas que buscan reducir su impacto ambiental. En los últimos años, el colegio ha logrado avances significativos en diferentes áreas, con resultados medibles en términos de ahorros en recursos y beneficios económicos.

A continuación, se presenta un análisis detallado de los ahorros y avances logrados en términos de sostenibilidad, basado en la información disponible:

- **Ahorros Energéticos y Uso Eficiente de la Energía**

Uno de los principales logros del Colegio Rochester ha sido la implementación de estrategias de eficiencia energética, tanto en la infraestructura del colegio como en su gestión cotidiana. A través de tecnologías innovadoras, el colegio ha logrado importantes reducciones en su consumo de energía, lo que ha permitido tanto ahorros económicos como una disminución de su huella de carbono.

- **Reducción del Consumo Energético:** Como parte de sus iniciativas para obtener la certificación LEED Gold, el colegio implementó tecnologías de iluminación eficiente, sistemas de ventilación natural y tecnologías de refrigeración que han permitido reducir el consumo energético en aproximadamente un 30% en comparación con otros edificios de similares características. Esto no solo contribuye a la reducción de costos operativos, sino también a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Uso de Energía Renovable:** El Colegio Rochester ha incorporado tecnologías que permiten el aprovechamiento de la energía solar para las necesidades básicas del campus, generando ahorros adicionales en sus facturas de electricidad. Este tipo

de inversión, además de ofrecer ahorros a largo plazo, refuerza el compromiso institucional con el uso de fuentes de energía renovables.

- **Ahorros en el Consumo de Agua**

El uso responsable del agua es otro pilar en las políticas de sostenibilidad del colegio. Para lograr este objetivo, se han implementado diversas iniciativas que incluyen la recolección de aguas lluvias y el uso eficiente del agua en todo el campus, lo cual ha llevado a importantes ahorros.

- **Reducción del Consumo de Agua:** Con la instalación de sistemas de reciclaje de aguas grises y la captación de agua de lluvia, el Colegio Rochester ha logrado reducir el consumo de agua potable en un 35% en comparación con el promedio de instituciones educativas de similar tamaño. El uso del agua recogida para riego y otros servicios no potables también ha permitido reducir la presión sobre las fuentes de agua locales y disminuir los costos asociados a su uso.
- **Optimización de los Sistemas de Riego:** El colegio implementó sistemas de riego automático en sus jardines y áreas verdes que funcionan con sensores de humedad, lo que asegura que el agua se utilice solo cuando es realmente necesario. Esto ha generado ahorros significativos en el consumo de agua en las zonas exteriores.

- **Ahorros por Gestión de Residuos y Reciclaje**

El Colegio Rochester ha implementado un sistema integral de gestión de residuos basado en la estrategia de cero desperdicios. Esto no solo ha reducido el volumen de residuos que va a los vertederos, sino que también ha generado ahorros económicos al optimizar el manejo de desechos.

- **Reciclaje y Reducción de Residuos:** Con el programa de reciclaje implementado, el colegio ha logrado reducir más del 70% de los residuos generados, lo que ha permitido un ahorro significativo en los costos de gestión de residuos. Además, al reducir el volumen de desechos enviados a vertederos, se han evitado costos adicionales de disposición.
- **Reducción de Costos Operativos:** Al mejorar la eficiencia en la clasificación y manejo de los residuos, el colegio ha logrado optimizar la contratación de servicios de recolección de residuos, lo que también ha generado ahorros económicos. Los costos asociados al manejo de residuos se han reducido en un 20-25% gracias a estas estrategias.

- **Ahorros en Materiales y Recursos de Construcción**

El colegio también ha logrado implementar prácticas de construcción sostenible que no solo minimizan el impacto ambiental, sino que también optimizan el uso de los materiales y reducen costos.

- **Uso de Materiales Reciclados y Sostenibles:** El uso de materiales reciclados en la construcción del edificio ha permitido que el Colegio Rochester reduzca el costo de los insumos en un 10-15%. Además, se ha priorizado la compra de materiales que sean duraderos y fáciles de mantener, lo que ha reducido los costos de reparación y reemplazo a largo plazo.
- **Optimización del Espacio:** La optimización del uso del espacio, mediante el diseño de áreas multifuncionales y el uso eficiente de las instalaciones, ha permitido reducir el consumo de energía y agua, generando ahorros adicionales en los costos operativos.

- **Ahorros Sociales y Educativos**

El impacto de las políticas de sostenibilidad también se extiende al ámbito social, a través de una mayor conciencia ecológica entre los estudiantes y la comunidad escolar. Este enfoque en la sostenibilidad ha logrado ahorros intangibles, como el fortalecimiento de la identidad institucional y la creación de una comunidad más comprometida con la protección del medio ambiente.

- **Programas Educativos sobre Sostenibilidad:** Los estudiantes del Colegio Rochester son educados sobre la importancia de la sostenibilidad y la eficiencia de recursos, lo que no solo los prepara para ser ciudadanos responsables, sino que también permite que el colegio reduzca el consumo de recursos a través de hábitos más responsables por parte de todos los miembros de la comunidad escolar.
- **Contribución a la Comunidad:** Además de sus esfuerzos internos, el colegio ha promovido programas educativos y actividades de voluntariado ambiental en comunidades cercanas, fortaleciendo el vínculo con el entorno y generando un impacto positivo en la sociedad.

- **Reconocimientos y Premios**

Los esfuerzos del Colegio Rochester han sido reconocidos en varias ocasiones, lo que también contribuye a su posicionamiento como líder en sostenibilidad en el sector educativo:

- **Certificación TRUE Gold:** La reciente obtención de la certificación TRUE Gold por su programa de cero desperdicio resalta su compromiso con la reducción de residuos y la sostenibilidad.

- **Certificación LEED Gold:** La obtención de la certificación LEED Gold por su infraestructura verde y ecológica también subraya los esfuerzos del colegio para operar de manera eficiente y responsable con el medio ambiente.

El Colegio Rochester ha logrado avances significativos en sostenibilidad durante los últimos años, no solo en términos de reducción de su impacto ambiental, sino también en términos de ahorros económicos derivados de la eficiencia en el consumo de recursos. Con sus iniciativas en energía, agua, gestión de residuos, construcción sostenible y educación ambiental, el colegio ha logrado crear un entorno más responsable y consciente con el medio ambiente, mientras optimiza costos operativos y promueve una cultura sostenible en su comunidad. Gracias a estos esfuerzos, el Colegio Rochester no solo contribuye a la preservación del medio ambiente, sino que también se posiciona como un líder en la integración de la sostenibilidad dentro de su modelo educativo.

#### **11.2.5. Edificio Novartis**

El Edificio Novartis en Bogotá, junto con las operaciones de la empresa en general, ha implementado una serie de estrategias que no solo buscan la sostenibilidad ambiental, sino que también contribuyen significativamente a ahorros operativos. Estos ahorros son el resultado de prácticas innovadoras que permiten un uso eficiente de los recursos, reduciendo costos mientras se minimiza el impacto ambiental. A continuación, se detallan los ahorros obtenidos por Novartis a lo largo de los últimos años, basados en sus esfuerzos en sostenibilidad.

- **Ahorros Energéticos**

Una de las principales áreas donde el Edificio Novartis ha logrado ahorros significativos es en el consumo de energía. A través de diversas estrategias y tecnologías

implementadas en la infraestructura, el edificio ha alcanzado resultados sobresalientes en eficiencia energética.

- **Optimización del Consumo Energético:** Gracias a la certificación LEED en la categoría Plata, se han implementado tecnologías de iluminación eficiente (como luces LED de bajo consumo), sistemas de aire acondicionado y calefacción eficientes y tecnologías de ventilación natural. Estas acciones han permitido una reducción del consumo energético del 25-30% en comparación con edificaciones convencionales de tamaño similar. Este tipo de ahorro es crucial, ya que no solo reduce los costos de operación, sino que también contribuye significativamente a la disminución de la huella de carbono del edificio.
- **Energía Renovable:** Se ha incorporado el uso de energía solar en ciertas áreas del edificio, lo que contribuye a generar ahorros adicionales en las facturas de electricidad. La instalación de paneles solares ha permitido que el edificio cubra un porcentaje importante de su demanda energética mediante fuentes renovables, lo que no solo reduce costos, sino que también fortalece el compromiso de Novartis con el uso de energías limpias.

- **Ahorros en el Uso del Agua**

El uso eficiente de agua ha sido otra de las áreas clave para la sostenibilidad del Edificio Novartis. La empresa ha implementado varias soluciones para reducir el consumo de agua potable y maximizar el uso de otras fuentes.

- **Captación de Agua Lluvia:** Una de las estrategias más efectivas implementadas en el edificio es el sistema de captación de agua lluvia, que recolecta el agua para su uso en el riego de áreas verdes, limpieza y otros usos no potables. Este sistema ha permitido al edificio reducir su dependencia del suministro de agua

potable en un 30-40%. Este ahorro se traduce en una disminución de los costos operativos y una reducción en la huella hídrica del edificio.

- **Tecnología de Ahorro de Agua:** El edificio está equipado con sistemas de grifería y baños de bajo consumo. Además, los sistemas de riego de jardines están automatizados y optimizados para evitar el desperdicio de agua. Esta implementación ha permitido una reducción significativa en el consumo de agua potable, contribuyendo no solo a la eficiencia operativa, sino también al ahorro en costos asociados a la factura de agua.

- **Ahorros en Gestión de Residuos**

El manejo de residuos es otra de las áreas en las que el Edificio Novartis ha hecho esfuerzos significativos para reducir costos y mejorar la eficiencia.

- **Programa de Reciclaje y Gestión de Residuos:** Como parte de su compromiso con la sostenibilidad, el edificio implementa un sistema de clasificación de residuos que permite separar y reciclar materiales como papel, cartón, plástico y metales. Este sistema ha ayudado a desviar más del 50% de los residuos generados por el edificio de los vertederos. Como resultado, el costo de disposición de residuos ha disminuido considerablemente, generando ahorros operativos importantes.
- **Reutilización de Materiales:** Además de reciclar, Novartis también promueve la reutilización de materiales dentro del edificio, reduciendo la necesidad de adquirir nuevos recursos. Estos esfuerzos en la gestión de residuos contribuyen a la reducción de costos asociados al manejo y disposición de desechos, al mismo tiempo que mejoran la eficiencia en el uso de materiales.

- **Ahorros en Materiales de Construcción y Mantenimiento**

La sostenibilidad en la construcción también ha permitido a Novartis reducir costos a largo plazo. La implementación de prácticas de construcción verde y la elección de materiales sostenibles han tenido un impacto directo en los costos operativos del edificio.

- **Uso de Materiales Sostenibles:** Durante la construcción del edificio, se priorizó el uso de materiales reciclados y sostenibles, lo que ha reducido la necesidad de materiales de construcción nuevos y ha disminuido los costos iniciales. Además, el uso de materiales duraderos y de bajo mantenimiento ha reducido los gastos a largo plazo en reparaciones y renovaciones.
- **Diseño Eficiente y de Bajo Mantenimiento:** El diseño del edificio se centra en la reducción de mantenimiento y la durabilidad. Esto ha permitido que los costos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo se mantengan bajos, mejorando la eficiencia operativa del edificio.

- **Ahorros a Nivel Corporativo: Estrategias de Sostenibilidad**

A nivel corporativo, Novartis ha integrado la sostenibilidad en su estrategia de negocios, lo que se refleja en la optimización de procesos y una gestión más eficiente de los recursos. Esto ha permitido que la empresa logre ahorros no solo en sus operaciones de construcción y mantenimiento, sino también en su actividad global.

- **Reducción de Costos Operativos Globales:** Las estrategias de sostenibilidad de Novartis, implementadas en edificios como el de Bogotá, han generado ahorros globales al reducir el consumo de energía, agua y otros recursos en todas sus instalaciones. Este enfoque ha permitido a la compañía minimizar los costos operativos y mejorar su rentabilidad a largo plazo.

- **Iniciativas de Responsabilidad Social Empresarial:** Novartis ha integrado principios de responsabilidad social empresarial (RSE) en su modelo de negocio, lo que ha generado beneficios tanto en términos de reducción de costos como en la mejora de su reputación corporativa. Estos esfuerzos han permitido optimizar la relación con proveedores, reducir riesgos operacionales y mejorar la eficiencia en la gestión empresarial.

- **Innovaciones Tecnológicas que Permiten Ahorros**

Además de las medidas físicas implementadas, el Edificio Novartis también ha adoptado tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia de sus operaciones, lo que ha resultado en ahorros sustanciales.

- **Automatización de Sistemas:** La automatización de sistemas de iluminación, climatización y seguridad ha permitido reducir el consumo de energía al optimizar su uso. Estos sistemas inteligentes se ajustan de manera autónoma según la cantidad de personas presentes en el edificio y las condiciones ambientales, lo que contribuye a la eficiencia energética y a la reducción de costos.
- **Monitoreo en Tiempo Real:** Gracias a la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real, Novartis puede rastrear su consumo de energía, agua y residuos, lo que permite identificar áreas de mejora y realizar ajustes inmediatos para maximizar la eficiencia.

El Edificio Novartis en Bogotá ha logrado resultados sobresalientes en términos de ahorros operativos gracias a su enfoque integral de sostenibilidad. A través de estrategias eficientes en energía, agua, gestión de residuos, materiales de construcción y el uso de tecnologías innovadoras, Novartis ha logrado reducir significativamente sus costos operativos, al tiempo que disminuye su huella ambiental. Estos logros no solo

mejoran la rentabilidad de la empresa, sino que también refuerzan su compromiso con un futuro sostenible y responsable.

#### **11.2.6. Conclusiones análisis de las edificaciones**

##### **1. Eficiencia Energética**

- Edificio Novartis ha logrado una reducción del consumo energético entre un 25-30% mediante el uso de energía solar, sistemas de iluminación LED y HVAC eficiente.
- Colegio Rochester también implementó tecnologías de iluminación LED y sistemas eficientes de calefacción y ventilación, mejorando su eficiencia energética.
- Centro Comercial El Edén ha alcanzado reducciones del 20-30% en su consumo energético gracias a la instalación de iluminación LED y la optimización de su sistema HVAC.
- Ahorros: En todos los casos, las iniciativas en eficiencia energética han generado ahorros directos en las facturas de electricidad, contribuyendo a una disminución de costos operativos y a la reducción de la huella de carbono.

##### **2. Ahorro y Gestión del Agua**

- Edificio Novartis ha implementado un sistema de captación de agua lluvia, lo que ha permitido reducir el consumo de agua potable en un 40%. Además, ha optimizado su sistema de riego y uso de agua en jardines.

- Colegio Rochester ha adoptado tecnologías de ahorro de agua y captación de agua lluvia, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos hídricos en su campus.
- Centro Comercial El Edén implementó sistemas de riego eficiente y tecnologías para reducir el consumo de agua potable, resultando en una disminución del consumo de agua en un 20-25%.
- Ahorros: Las tres edificaciones han logrado ahorros significativos en sus facturas de agua gracias a la implementación de estas tecnologías, y han reducido su dependencia de fuentes de agua potable, contribuyendo a la conservación del recurso hídrico.

### 3. Gestión de Residuos

- Edificio Novartis y el Centro Comercial El Edén han implementado sistemas de reciclaje de residuos, con separación y clasificación que han permitido desviar más del 50% de los residuos generados de los vertederos.
- Colegio Rochester ha logrado una destacada certificación TRUE Gold en gestión de residuos, mostrando su liderazgo en la reducción, reciclaje y reutilización de materiales.
- Los tres establecimientos tienen programas robustos para la reducción de residuos plásticos y el fomento del reciclaje en las comunidades aledañas y entre los usuarios de sus instalaciones.
- Ahorros: La gestión eficiente de residuos no solo ha reducido el volumen de desechos enviados a vertederos, sino que también ha disminuido los costos

asociados con la disposición de residuos, mientras que ha generado ingresos a través de la venta de materiales reciclados.

#### 4. Materiales Sostenibles en la Construcción

- El Edificio Novartis ha utilizado materiales reciclados y sostenibles durante su construcción, lo que ha ayudado a reducir costos iniciales y minimizar el impacto ambiental de la obra.
- El Colegio Rochester también ha priorizado la sostenibilidad en la elección de sus materiales, asegurando que se utilicen materiales con baja huella de carbono y duraderos, lo que ha reducido las necesidades de mantenimiento a largo plazo.
- En el Centro Comercial El Edén, se han elegido materiales ecológicos para las áreas comunes y para la construcción de nuevas instalaciones, lo que ha contribuido a una mayor eficiencia en los recursos y menores costos operativos relacionados con la infraestructura.
- Ahorros: La elección de materiales sostenibles ha permitido reducir los costos de construcción y minimizar los costos de mantenimiento debido a la durabilidad y eficiencia de los materiales seleccionados.

#### 5. Compromiso Social y Educacional

- El Colegio Rochester ha integrado la educación ambiental en su currículo, involucrando activamente a estudiantes y padres en proyectos de sostenibilidad, lo que promueve una cultura ecológica dentro de la comunidad escolar.
- El Centro Comercial El Edén ha implementado programas de responsabilidad social que incluyen actividades de concientización y educación ambiental para sus clientes, empleados y locatarios.

- Novartis ha hecho esfuerzos significativos en responsabilidad social corporativa, desarrollando proyectos que incluyen programas de salud comunitaria, educación ambiental y promoción de prácticas sostenibles tanto en sus instalaciones como en las comunidades aledañas.
- Ahorros: La educación y concientización no solo beneficia a las comunidades locales, sino que también mejora la relación con clientes y empleados, lo que puede resultar en beneficios económicos indirectos, tales como un aumento de la lealtad y compromiso.

En general, las tres edificaciones han logrado avanzar de manera significativa en cuanto a sostenibilidad, cada una con sus estrategias y enfoques propios, pero con un objetivo común: reducción de costos operativos, conservación de recursos y disminución de su impacto ambiental. Estas son las principales conclusiones unificadas:

- Ahorros Significativos: Todas las edificaciones han logrado ahorros importantes en energía y agua a través de la implementación de tecnologías sostenibles, lo que no solo ha reducido sus costos operativos, sino que también ha disminuido su huella ambiental.
- Mejoras en Gestión de Residuos: La implementación de programas efectivos de reciclaje y reducción de residuos ha permitido a estos edificios no solo reducir el impacto ambiental, sino también generar ahorros derivados de la gestión eficiente de los desechos.
- Sostenibilidad en la Construcción: El uso de materiales sostenibles y el diseño eficiente en cuanto a mantenimiento y recursos han permitido que estas

edificaciones logren reducir sus costos de construcción y mantenimiento, al tiempo que fomentan la conservación de recursos.

- **Responsabilidad Social:** Estas edificaciones han ido más allá de las operaciones internas, integrando en sus prácticas una responsabilidad social corporativa que involucra a empleados, estudiantes, clientes y comunidades en proyectos de educación ambiental y sostenibilidad.
- **Impacto Económico y Ambiental Positivo:** Los esfuerzos en sostenibilidad han resultado en ahorros económicos y una reducción del impacto ambiental, mientras que los esfuerzos sociales y educativos han fortalecido el compromiso y la relación con la comunidad.

#### **11.2.7. Resultados obtenidos objetivo 2**

En relación con el segundo objetivo de la investigación, se llevó a cabo la identificación y sistematización de la información obtenida a partir de los instrumentos aplicados, lo que permitió establecer patrones de comportamiento y tendencias preliminares en torno a las variables analizadas. Estos hallazgos constituyen la base para la aplicación de un análisis cuantitativo más detallado, orientado a determinar el nivel de impacto y la correlación existente entre los factores evaluados.

#### **11.2.8. Análisis cuantitativo de los resultados**

Para evaluar el impacto de la integración de sistemas de información en la prolongación de la vida útil de los edificios sostenibles, las variables que directamente se pueden relacionar, son aquellas que involucran procesos de monitoreo, mantenimiento y comunicación dentro del edificio, ya que los sistemas de información impactan

principalmente en esos aspectos. De esta forma, las variables clave que se pueden relacionar con ese objetivo son:

- ¿Cómo calificaría el estado actual de la planta física? (Planta física) Refleja directamente el resultado de una buena gestión y mantenimiento, en la que los sistemas de información pueden tener un rol decisivo.

La mayoría de los encuestados valoraron positivamente la planta física del edificio, con un 45.7% calificándola como “buena” y un 40.6% como “aceptable”. Solo el 11.7% la considera deficiente o muy deficiente. Esto indica una percepción general favorable sobre las condiciones físicas del inmueble, aunque también sugiere oportunidades de mejora para convertir las valoraciones aceptables en calificaciones más altas. La baja tasa de no respuesta (2.1%) sugiere un buen nivel de compromiso de los encuestados con esta pregunta

En la tabla 16, se logra identificar la frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Planta física

**Tabla 16.**

*Tabla de Frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Planta física*

<b>Tabla de frecuencia para: Planta física</b>			
	<b>valor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>porcentaje</b>
<b>1</b>	2	1	1.1%
<b>2</b>	3	10	10.6%
<b>3</b>	4	38	40.6%
<b>4</b>	5	43	45.7%
	NA	2	2.1%

**Nota:** la presenta tabla muestra la frecuencia medida en porcentaje frente a la planta física.

- ¿Cómo calificaría la atención al mantenimiento oportuno de la edificación?

(Mantenimiento) La eficiencia del mantenimiento está altamente influenciada por el uso de sistemas de información para planificar y ejecutar intervenciones.

Los datos obtenidos muestran una percepción altamente favorable por parte de los usuarios respecto al mantenimiento en los edificios sostenibles evaluados. En conjunto, un 89.4 % de los encuestados calificó el mantenimiento como “bueno” (41.5 %) o “excelente” (47.9 %), lo cual refleja una alta eficiencia en las rutinas de operación y conservación de la infraestructura.

Este resultado es consistente con las entrevistas realizadas a los responsables de mantenimiento, quienes destacaron el uso de sistemas de información centralizados y estrategias de mantenimiento preventivo apoyadas en tecnologías como BMS (Building Management Systems). Estas herramientas han permitido anticipar fallos, reducir tiempos de respuesta ante incidentes y optimizar el uso de recursos técnicos y humanos.

En contraste, las valoraciones negativas (1.1 % “muy deficiente” y 1.1 % “deficiente”) representan un porcentaje mínimo, lo que sugiere que las fallas percibidas son casos puntuales y no una tendencia generalizada. El valor asignado como “aceptable” (7.4 %) puede interpretarse como un espacio de mejora, especialmente si se busca llevar la percepción general hacia la excelencia.

Finalmente, el bajo porcentaje de no respuesta (1.1 %) indica un buen nivel de claridad y pertinencia de la pregunta formulada, así como una alta disposición de los encuestados a participar activamente en la evaluación.

En términos generales, estos datos respaldan la hipótesis de que el uso de sistemas de información para la gestión de mantenimiento en edificaciones sostenibles

tiene un impacto directo y positivo en la percepción del usuario, lo cual es clave para la conservación a largo plazo del valor operativo y ambiental de los edificios certificados.

En la tabla 17, se logra identificar la frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Mantenimiento"

**Tabla 17.**

*Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Mantenimiento"*

<b>Tabla de frecuencia para: Mantenimiento</b>			
	<b>valor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>porcentaje</b>
<b>1</b>	1	1	1.1%
<b>2</b>	2	1	1.1%
<b>3</b>	3	7	7.4%
<b>4</b>	4	39	41.5%
<b>5</b>	5	45	47.9%
<b>6</b>	NA	1	1.1%

*Nota:* Escala de valoración del 1 (muy deficiente) al 5 (excelente). NA corresponde a respuestas no registradas.

- ¿Cómo calificaría los sistemas implementados para informar sobre daños o averías en el edificio? (Averías) Esta pregunta se relaciona directamente con la existencia y efectividad de los sistemas de información que permiten detectar y notificar fallos.

La categoría "Averías", relacionada con la frecuencia y gravedad de fallas técnicas o funcionales en el edificio, obtuvo una valoración claramente positiva por parte de los encuestados. En total, un 79.8 % de los participantes calificaron este aspecto como "bueno" (41.5 %) o "excelente" (38.3 %), mientras que un 20.2 % lo consideró

“aceptable”. No se registraron respuestas en los niveles de “deficiente” o “muy deficiente”, lo que sugiere una ausencia general de fallas graves o recurrentes.

Este resultado refleja la eficacia de los sistemas de mantenimiento implementados, especialmente en edificios que incorporan tecnologías de gestión como BMS o plataformas de mantenimiento predictivo. La capacidad de anticipar averías mediante sensores, programación automatizada de revisiones y alertas tempranas ha sido mencionada como una de las principales fortalezas en las entrevistas realizadas a los responsables de operación de los edificios.

El 20.2 % de respuestas en el nivel “aceptable” sugiere que, aunque no se perciben averías como un problema serio, existen eventos menores o esporádicos que podrían ser monitoreados para evitar su escalamiento. Esto abre oportunidades de mejora para mantener niveles de excelencia de forma continua.

En conclusión, los datos de esta tabla respaldan la percepción de que los sistemas de información implementados en las edificaciones sostenibles analizadas contribuyen significativamente a la reducción y control de averías, generando ambientes más confiables y funcionales para los usuarios.

En la tabla 18, se logra identificar la frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Averías"

**Tabla 18.**

*Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Averías"*

<b>Tabla de frecuencia para: Averías</b>			
	<b>valor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>porcentaje</b>
<b>1</b>	3	19	20.2%
<b>2</b>	4	39	41.5%

3 5 36 38.3%

*Nota:* En esta categoría no se registraron respuestas en los niveles 1 (muy deficiente) y 2 (deficiente), lo cual indica una tendencia positiva generalizada en la percepción de averías en los edificios.

- ¿Cómo calificaría el sistema implementado para el manejo de los desechos? (Manejo desechos).

Los resultados obtenidos sobre el manejo de desechos en las edificaciones analizadas muestran una tendencia mayoritariamente positiva. El 81.9 % de los encuestados valoró este aspecto como “bueno” (44.7 %) o “excelente” (37.2 %), lo que refleja una percepción general de eficiencia y adecuación en los procesos de separación, recolección y disposición de residuos.

Un 16 % de las respuestas ubicadas en el nivel “aceptable” indica que, si bien el sistema cumple con las expectativas mínimas, podría beneficiarse de mejoras o mayor visibilidad en su operación. Solo un 2.1 % de los usuarios percibió el manejo de desechos como deficiente, lo cual representa una incidencia muy baja de insatisfacción.

Durante las entrevistas, se destacó la implementación de campañas internas de educación ambiental, señalización de puntos de reciclaje y contratación de operadores externos certificados como estrategias clave para mantener un sistema de residuos alineado con los principios de sostenibilidad LEED.

En resumen, esta variable refleja un alto nivel de cumplimiento en los criterios operativos de sostenibilidad, y aunque los resultados son favorables, existe margen para fortalecer aún más la participación de los usuarios y mejorar la trazabilidad de residuos valorizables.

En la tabla 19, se logra identificar la frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Manejo de desechos"

**Tabla 19.**

*Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Manejo de desechos"*

<b>Tabla de frecuencia para: Manejo desechos</b>			
	<b>valor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>porcentaje</b>
<b>1</b>	2	2	2.1%
<b>2</b>	3	15	16%
<b>3</b>	4	42	44.1%
<b>4</b>	5	35	37.2%

*Nota:* No se registraron respuestas en el valor 1 (muy deficiente). Escala de valoración del 1 (muy deficiente) al 5 (excelente).

- **Para dar contexto de agregan las variables:**

¿Qué tan familiarizado está con el concepto de un edificio sostenible?

La valoración del "Concepto de sostenibilidad" por parte de los encuestados evidencia una buena comprensión general del tema, con un 72.4 % de respuestas concentradas en los niveles "bueno" (30.9 %) y "excelente" (41.5 %). Esto sugiere que la mayoría de los usuarios tienen una percepción sólida y positiva sobre el significado y la importancia de la sostenibilidad dentro del contexto de las edificaciones donde se desenvuelven.

El 21.3 % que calificó el concepto como "aceptable" indica que, aunque existe una noción básica del término, podrían requerirse acciones de formación y sensibilización para reforzar su entendimiento y aplicación cotidiana. Por otro lado, las valoraciones negativas (2.1 % "muy deficiente" y 2.1 % "deficiente") son marginales, pero muestran

que aún hay un grupo reducido de usuarios que no han internalizado completamente el enfoque sostenible del edificio.

Estas cifras reflejan la necesidad de complementar los esfuerzos técnicos con estrategias de comunicación y educación ambiental dirigidas a los usuarios, como campañas, señalización educativa, y programas de participación activa. La presencia de un 2.1 % de no respuestas también puede deberse a una falta de claridad conceptual o desinterés, lo cual refuerza la importancia de vincular activamente a los usuarios en la gestión sostenible del inmueble.

En conclusión, la percepción general sobre el concepto de sostenibilidad es favorable, pero aún existe un margen importante para fortalecer la cultura ambiental interna, especialmente si se busca que los edificios sostenibles no solo lo sean desde la técnica, sino también desde la apropiación por parte de sus usuarios.

En la tabla 19, se logra identificar la frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Concepto de

**Tabla 20.**

*Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Concepto de sostenibilidad"*

<b>Tabla de frecuencia para: Concepto de sostenibilidad</b>			
	<b>valor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>porcentaje</b>
<b>1</b>	1	2	2.1%
<b>2</b>	2	2	2.1%
<b>3</b>	3	20	21.3%
<b>4</b>	4	29	30.9%
<b>5</b>	5	39	41.5%

<b>6</b>	NA	2	2.1%
----------	----	---	------

*Nota:* Escala de valoración del 1 (muy deficiente) al 5 (excelente). NA corresponde a respuestas no registradas.

- ¿Cómo consideraría que la edificación es sostenible? (Edificacion\_sostenible)

En la tabla 21, se logra identificar la frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Edificación

**Tabla 21.**

*Tabla de frecuencia y porcentaje de respuestas en la categoría "Edificación sostenible"*

<b>Tabla de frecuencia para: Edificación sostenible</b>			
	<b>valor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>porcentaje</b>
<b>1</b>	1	1	1.1%
<b>2</b>	2	1	1.1%
<b>3</b>	3	8	8.5%
<b>4</b>	4	40	42.6%
<b>5</b>	5	43	45.7%
<b>6</b>	NA	1	1.1%

*Nota:* Escala de valoración del 1 (muy deficiente) al 5 (excelente). NA corresponde a respuestas no registradas.

Los resultados de esta categoría muestran una evaluación ampliamente positiva por parte de los encuestados sobre el desempeño general de las edificaciones sostenibles estudiadas. El 88.3 % de las respuestas se concentran en los niveles "buena" (42.6 %) y "excelente" (45.7 %), lo cual demuestra una fuerte aceptación de las características sostenibles integradas en el diseño, operación y mantenimiento de estos edificios.

Solo el 8.5 % consideró el desempeño como “aceptable”, lo que podría estar relacionado con aspectos que no son directamente percibidos por el usuario, como el origen de los materiales, la trazabilidad energética o el manejo integral del ciclo de vida del edificio. Por otro lado, las valoraciones negativas son mínimas (1.1 % “muy deficiente” y 1.1 % “deficiente”), lo que indica una baja insatisfacción generalizada.

Este alto nivel de aprobación se alinea con la presencia de certificaciones como LEED, así como con el uso de tecnologías orientadas al ahorro energético, eficiencia hídrica y confort ambiental. Las entrevistas a los responsables de mantenimiento también destacan la implementación de estrategias sostenibles respaldadas por sistemas de información, lo cual contribuye a una percepción favorable desde el punto de vista del usuario.

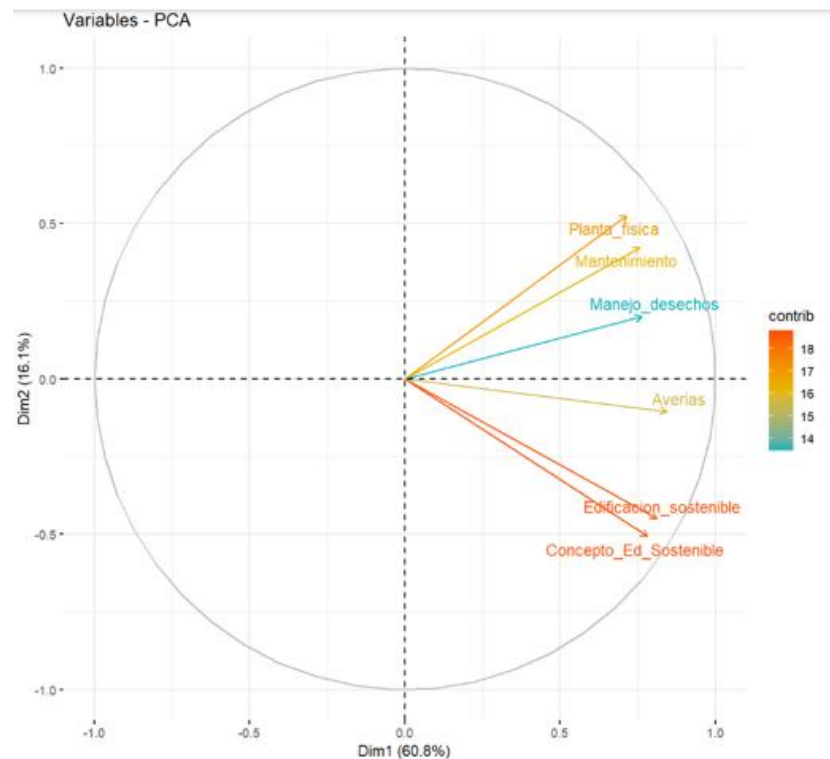
En suma, la categoría “Edificación sostenible” refleja no solo un buen desempeño técnico, sino también una apropiación positiva por parte de los usuarios, lo que resulta clave para la consolidación de prácticas sostenibles a largo plazo dentro del entorno construido.

#### **11.2.9. Análisis Multivariado**

Para observar la relación multivariada de las variables, se realiza un análisis de componentes principales, con el fin de observar el comportamiento conjunto de estas variables.

#### **Figura 9.**

*Contribución de variables a los componentes principales (PCA)*



*Nota:* Elaboración propia; El gráfico muestra el grado de contribución de cada variable a las dos primeras dimensiones del análisis de componentes principales. Dim1 explica el 60.8 % de la varianza total y Dim2 el 16.1 %. Los colores indican la magnitud de la contribución (de menor a mayor, de azul a rojo).

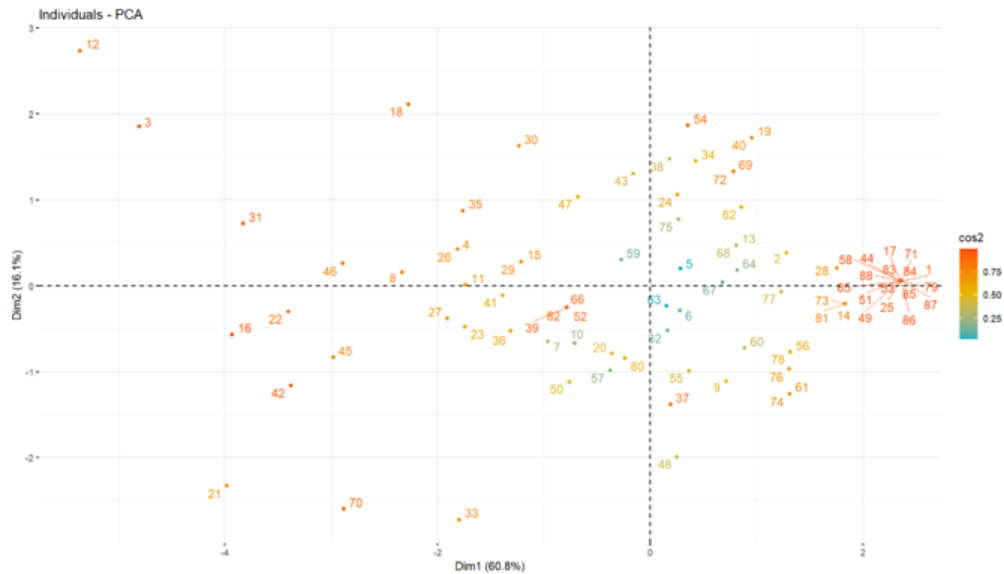
En la gráfica anterior se puede identificar con claridad cómo las variables *Planta\_física* y *Mantenimiento* se encuentran muy próximas entre sí, lo que indica que los usuarios asocian el buen estado de la edificación con una adecuada planificación del mantenimiento. Asimismo, se observa que las variables *Edificación\_sostenible* y *Concepto de edificación sostenible* también están cercanas, lo cual confirma que los encuestados poseen conocimientos sobre sostenibilidad y cómo se aplica en el edificio.

Por otro lado, las variables *Manejo\_desechos* y *Averías* se encuentran alejadas del resto, lo que sugiere que son percibidas como independientes o poco relevantes. Esto podría deberse a que, en un edificio sostenible y bien gestionado, estos aspectos no

representan una preocupación significativa, ya que se asume su adecuado manejo como parte del funcionamiento esperado.

**Figura 10.**

*Representación de individuos en el Análisis de Componentes Principales (PCA)*



*Nota:* Cada punto representa una observación (individuo). El color indica la calidad de la representación ( $\cos^2$ ) sobre el plano factorial, siendo el rojo más intenso indicativo de mayor contribución explicativa.

La grafica anterior muestra una alta dispersión, además el hecho de contar con una dimensión (Dim1) que agrupa el 60,75% de la varianza indica de forma clara que existe un consenso entre los encuestados en cuanto a la importancia de un buen mantenimiento del edificio, la percepción de confort y el conocimiento sobre sostenibilidad y edificaciones sostenibles.

El ACP muestra que el primer componente principal (Dim.1) explica el 60.75% de la varianza total, lo cual es muy alto para un único componente. Este resultado indica una fuerte dimensión común entre las variables. De esta forma es posible interpretar el

comportamiento del a dimensión con respecto a la relación entre las variables, Averías ( $\cos^2 = 0.710$ ), Edificacion\_sostenible (0.661), Concepto\_Ed\_Sostenible (0.611), Manejo\_desechos (0.581), Mantenimiento (0.572), y Planta\_fisica (0.510). Esto indica que Dim.1 representa una dimensión global de calidad operativa y sostenibilidad percibida, donde altos valores indican edificaciones con buena infraestructura, sostenibilidad reconocida, mantenimiento adecuado, manejo de desechos y atención a averías.

Dado que el primer componente agrupa de manera consistente todas las variables relacionadas con la percepción y operación sostenible de los edificios, puede interpretarse como un índice sintético de sostenibilidad operativa gestionada mediante sistemas de información. Esto sugiere que la integración de sistemas de información en áreas como mantenimiento, monitoreo de averías y gestión de residuos contribuye de forma coherente a la prolongación de la vida útil de los edificios sostenibles, ya que mejora tanto la eficiencia operativa como la percepción de sostenibilidad entre los usuarios.

En la tabla 22, se logra identificar las dimensiones de impacto de los sistemas de información en la vida útil de edificaciones sostenibles

**Tabla 22.**

*Tabla Dimensiones de impacto de los sistemas de información en la vida útil de edificaciones sostenibles*

<b>Dimensión</b>	<b>Descripción</b>	<b>Impacto en la Vida Útil</b>	<b>Indicadores Clave</b>
<b>Mantenimiento predictivo y preventivo</b>	Uso de sensores que permiten detectar	Mayor vida útil de edificio	% reducción de daños al edificio

	fallos antes de que ocurran		
<b>Gestión energética inteligente</b>	Monitorización y ajuste en tiempo real del uso de energía	Menor desgaste de equipos y mayor eficiencia operativa	kWh/m <sup>2</sup> /año antes y después de SI
<b>Optimización de recursos y materiales</b>	Análisis de datos para reducir el uso excesivo de materiales	Minimización de residuos y mayor durabilidad de componentes	% reducción en reemplazos anuales
<b>Toma de decisiones basada en datos</b>	Implementación de datos históricos y en tiempo real		

*Nota:* Adaptado a partir de los datos obtenidos en entrevistas y revisión de literatura sobre el uso de sistemas de información en edificios con certificación LEED.

### **11.3. Desarrollo Objetivo 3. Examinar los desafíos y oportunidades en la adopción de sistemas de información para la gestión de recursos y mantenimiento en edificios sostenibles.**

En el desarrollo del primer objetivo, se presentaron los diferentes sistemas de información aplicados a la administración de edificios sostenibles. Dependiendo de las necesidades específicas o del enfoque de la construcción, optar por un sistema BACS (Building Automation and Control System), permite monitorear, controlar y optimizar diversos aspectos de la edificación, como la climatización, la iluminación y el uso eficiente de la energía, entre otros.

La implementación de sistemas de información como los BACS (Building Automation and Control Systems) plantea desafíos, ya que los administradores de instalaciones deben contar con conocimientos específicos sobre su estructura,

topologías, protocolos de comunicación y su integración con otras aplicaciones digitales. Aunque BACS ofrece importantes beneficios, también incrementa los riesgos de seguridad ante ataques físicos y cibernéticos. La detección de vulnerabilidades, pruebas en entornos reales, actualizaciones periódicas y mejoras en los sistemas de protección, son importantes para afrontar los diferentes desafíos. Finalmente, es importante resaltar la necesidad de seguir investigando el impacto de los sistemas de información como los BACS en la gestión de edificios sostenibles. (S. van Roosmalea, 2024).

A continuación, se presentan en detalle las oportunidades y desafíos asociados a la implementación de sistemas de información en edificaciones sostenibles.

#### **11.3.1. Oportunidades**

- **Rendimiento energético**

Los sistemas de información que permiten aspectos de los edificios, como la calefacción, la ventilación, la iluminación y el aire acondicionado ayudan a regular y ajustar automáticamente estos aspectos en función de las condiciones y necesidades del edificio, lo que contribuye a un uso más eficiente de los recursos energéticos.

El monitoreo constante y la automatización del uso de energía no solo ayudan a reducir el consumo, generando ahorros en los costos para los propietarios y/o administradores de los edificios. Reducir la cantidad de energía utilizada, provoca una oportunidad de disminuir el impacto ambiental asociado con la producción y el consumo de energía, lo cual es fundamental para lograr edificaciones más sostenibles. (Li, 2018).

- **Seguridad mejorada**

Los sistemas de información que permiten la integración de sistemas como los que administran la vigilancia, el control de acceso y permite una gestión automatizada de

la seguridad en los edificios. Estos sistemas interconectados son una oportunidad para monitorear en tiempo real la entrada y salida de personas, ya que permite detectar actividades inusuales mediante cámaras de seguridad inteligentes, y activar alarmas o notificaciones cuando se detecta un posible riesgo. Facilitando la gestión eficiente de los recursos de seguridad, reduciendo los costos en recursos. (Zhang, 2019).

- **Mejora del confort para los ocupantes**

Los controles ambientales tales como la iluminación, la temperatura y la calidad del aire, preparan un ambiente más cómodo y eficiente para los ocupantes de los edificios. Estos sistemas de información adaptan el ambiente interior a las preferencias y necesidades sus ocupantes, permitiendo un confort que se traduce en una mejora en su productividad. Si el sistema de información adoptado por el edificio permite ajustar de manera automática la temperatura y la luz según la hora del día o las condiciones climáticas externas, los sensores de calidad del aire al tiempo garantizan que el ambiente sea saludable, mejorando el bienestar general de los ocupantes. Todo esto permite una mejor gestión de recursos evitando el desperdicio de energía. (Shaikh, 2013).

- **Eficiencia operativa**

El uso de sensores inteligentes en el mantenimiento es una de las aplicaciones más efectivas para mejorar la eficiencia operativa en los edificios. Estos sensores recopilan datos sobre el rendimiento de los equipos (Sistemas eléctricos, ascensores, y calefacción), que permite predecir posibles fallas antes de que ocurran. Mediante el análisis de estos datos, se puede identificar patrones que alertan o predicen la necesidad de mantenimiento, reduciendo el tiempo que podría estar fuera de servicios por inactividad los equipos, mejorando la productividad, reduciendo costos asociados con reparaciones y ayudando en la prolongación de la vida útil de los equipos e instalaciones

Los paneles de control centralizados permiten a los administradores de instalaciones monitorear y controlar varios sistemas en tiempo real. (Haidar Hosamo Hosamo, 2022).

- **Toma de decisiones basada en datos**

La toma de decisiones basada en datos es un componente clave para optimizar la gestión de recursos en edificaciones sostenibles. Los análisis avanzados sobre el uso y el rendimiento de los sistemas de los edificios, como la energía, el agua, el aire acondicionado, y otros servicios, proporcionan información valiosa que permite una mejor planificación. Al analizar los datos históricos y en tiempo real, los administradores pueden identificar tendencias, prever necesidades futuras y hacer ajustes proactivos. Estos análisis avanzados facilitan la optimización de los recursos, asegurando que se utilicen de manera eficiente, lo que reduce los costos operativos y el impacto ambiental.

Los sistemas de análisis avanzados permiten realizar ajustes dinámicos en tiempo real. Como ejemplo tenemos el caso en que se detecte un aumento en el consumo de energía, el sistema ajusta de manera automática el clima o la iluminación del edificio para reducir el consumo innecesario. Optimizando el uso de los recursos, y contribuyendo a la sostenibilidad a largo plazo del edificio. (Yong Zhao, 2019).

### **11.3.2. Desafíos:**

- **Complejidad de la integración**

La combinación de sistemas heredados con tecnologías modernas de IoT y en la nube puede ser técnicamente difícil debido a que las tecnologías o plataformas no son en ocasiones compatibles, lo que no permite la interoperabilidad, la actualización y la adaptación de las tecnologías, en cuanto a los costos, se pueden aumentar de manera significativa debido a la inversión en infraestructura y en capacitación del personal que va

a operar y administrar el sistema. (Zhao, Challenges of integrating legacy systems with modern IoT and cloud technologies., 2018).

- **Riesgos de ciberseguridad**

Los edificios sostenibles, los cuales usan sistema de información para la administración y monitorio de sus recursos, tienen la necesidad de utilizar tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y el almacenamiento en la nube, esto ha incrementado significativamente el riesgo de enfrentarse a ciberataques. Los sistemas interconectados son más vulnerables a amenazas externas, como hackeos, ataques de denegación de servicio (DDoS) y otro tipo de intentos de acceso no autorizados, lo que podría comprometer la seguridad de la información de los ocupantes del edificio.

La integración de dispositivos IoT y plataformas basadas en la nube, hace que se mejore la eficiencia y la gestión de los recursos, pero también expone a nuevos vectores de ataque si no se implementan protocolos de seguridad robustos, como por ejemplo la autenticación multifactor, el cifrado de datos, las actualizaciones periódicas de seguridad y el monitoreo continuo de redes para detectar actividades sospechosas.

El aumento de la dependencia de sistemas conectados puede ser un riesgo en la operatividad de los edificios, debido a que un ciberataque que se ejecute con éxito puede interrumpir servicios críticos como el control de temperatura, la seguridad o el suministro eléctrico. (Zhao, Cybersecurity risks in smart building systems: Vulnerabilities and mitigation strategies., 2020)

**Altos costos iniciales**

- La instalación y configuración de sistemas inteligentes puede ser costosa, especialmente en edificios antiguos que requieren modernización.

**Privacidad de datos**

- Los sistemas que rastrean el comportamiento y las preferencias de los ocupantes deben manejar los datos de manera ética y cumplir con las leyes de privacidad (por ejemplo, por la Ley 1581 de 2012).

### **Brechas de habilidades**

- Los gerentes de instalaciones y el personal de TI pueden necesitar nuevas habilidades para administrar y mantener sistemas inteligentes. (S. van Roosmalea, 2024).

Con la información anterior podemos definir para las edificaciones con certificaciones LEED en Colombia lo siguiente:

### **11.3.3. Oportunidades**

#### **Optimización energética en climas diversos**

Colombia, con su variedad climática (tropical, templado, frío), puede aprovechar sistemas BMS, IoT y sensores para ajustar dinámicamente HVAC, iluminación y ventilación según las condiciones locales, reduciendo el consumo energético y ganando puntos LEED en la categoría Energía y Atmósfera (EA).

#### **Mayor competitividad en el mercado inmobiliario**

En ciudades como Bogotá, Medellín y Cali, los proyectos certificados LEED son altamente valorados por su eficiencia, confort y compromiso ambiental. Incorporar tecnologías de gestión inteligente puede aumentar la plusvalía de los edificios.

#### **Acceso a incentivos y reconocimientos**

Algunas ciudades (por ejemplo, Medellín a través de su programa de "Construcción Sostenible") ofrecen incentivos tributarios o beneficios en procesos de

licenciamiento para proyectos sostenibles. Un sistema de información robusto ayuda a demostrar estos logros de eficiencia.

### **Mantenimiento predictivo en infraestructura nueva y en renovación**

En Colombia, donde hay un crecimiento de nuevas construcciones y también de proyectos de renovación de edificios antiguos, los sistemas de mantenimiento predictivo permiten optimizar inversiones en conservación y extender la vida útil de las edificaciones LEED.

### **Gestión de la calidad ambiental interior**

Temas como la calidad del aire y el confort térmico son cada vez más importantes en entornos urbanos como Bogotá, donde hay problemas de contaminación. Los sistemas de monitoreo ambiental pueden aportar a créditos de Calidad Ambiental Interior (IEQ) en LEED.

#### **11.3.4. Desafíos**

##### **Costo de implementación y retorno de inversión (ROI)**

En Colombia, los costos de tecnología avanzada (IoT, sistemas BMS de última generación) pueden ser altos, especialmente comparados con los márgenes típicos de construcción. Es clave evaluar el costo-beneficio para justificar las inversiones ante promotores o propietarios.

##### **Disponibilidad y calidad de la infraestructura tecnológica**

Aunque las grandes ciudades tienen buena conectividad, en regiones más rurales o en expansión, el acceso a infraestructura de comunicaciones para IoT y servicios en la nube aún puede ser limitado o costoso.

### **Capacitación del talento local**

La operación y mantenimiento de sistemas inteligentes requiere personal capacitado. Actualmente, hay una brecha de formación en Colombia en cuanto a administración de edificios inteligentes, IoT, ciberseguridad y análisis de datos en facility management.

### **Normativas locales y compatibilidad**

Aunque LEED es un estándar internacional, debe coexistir con normativas locales (RETIE, RAS, NSR-10). Algunos sistemas automatizados deben adaptarse para cumplir simultáneamente con LEED y las regulaciones colombianas.

### **Ciberseguridad en expansión**

La conciencia sobre ciberseguridad en edificaciones aún está en proceso de maduración en Colombia. Al aumentar la conectividad de sistemas de control y monitoreo, los edificios LEED deben anticiparse adoptando protocolos robustos de seguridad digital.

(Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, CCCS, 2023), (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2022). (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, CCCS, 2023)

La implementación de sistemas de información en edificaciones certificadas LEED en Colombia representa una oportunidad estratégica para optimizar el uso de recursos, mejorar el confort de los ocupantes y fortalecer la sostenibilidad a largo plazo. La integración de tecnologías como el IoT, la automatización y el análisis de datos permite a los edificios no solo cumplir con los requisitos de certificación, sino también posicionarse como referentes de eficiencia e innovación en el mercado inmobiliario colombiano.

Sin embargo, este avance no está exento de desafíos. Los altos costos de implementación, la necesidad de infraestructura tecnológica adecuada, la capacitación del personal operativo y los riesgos de ciberseguridad son factores que deben ser gestionados de manera estratégica para maximizar los beneficios. En este sentido, el éxito de las edificaciones LEED en Colombia dependerá de su capacidad para adaptar tecnologías de manera inteligente, cumplir con las normativas locales y desarrollar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad y la innovación. De la anterior conclusión se derivan las siguientes recomendaciones:

- Planificación tecnológica temprana

Incluir desde las primeras etapas de diseño y construcción la planificación de sistemas de información inteligentes, considerando su compatibilidad con los requerimientos LEED y las normativas locales.

- Evaluar costo-beneficio a largo plazo

Realizar análisis de retorno de inversión (ROI) para justificar la adopción de sistemas avanzados de gestión, enfocándose en el ahorro energético, el aumento del valor del inmueble y la reducción de costos operativos.

- Fortalecer la capacitación y la cultura organizacional

Invertir en programas de formación continua para administradores de edificios, ingenieros y operadores, asegurando que el talento humano esté alineado con el uso eficiente y seguro de las nuevas tecnologías.

- Implementar estrategias de ciberseguridad robustas

Desarrollar protocolos claros para proteger los sistemas conectados, incluyendo actualizaciones regulares, encriptación de datos y auditorías de seguridad.

- Monitoreo y mejora continua

Establecer mecanismos de monitoreo permanente y retroalimentación, utilizando los datos recolectados para ajustar y optimizar las estrategias de operación y mantenimiento del edificio.

#### **11.3.5. Identificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles.**

Con base en la información recopilada para el desarrollo de los apartados anteriores, se puede establecer que la integración de tecnologías, como los sistemas de información, requiere una atención especial en materia de ciberseguridad. Los sistemas inteligentes de gestión energética, control de accesos y automatización pueden convertirse en posibles vectores de ataque si no se protegen adecuadamente, representando un riesgo significativo.

Las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles deben estar alineadas con los objetivos de eficiencia energética, resiliencia, seguridad y confort.

En el desarrollo de esta monografía, la revisión bibliográfica proporciona el conocimiento necesario para identificar las mejores prácticas, organizadas en torno a los siguientes temas relevantes:

- Análisis de requerimientos desde fases tempranas: Definir claramente los objetivos del edificio (eficiencia energética, confort, automatización, seguridad).
- Diseño modular y escalable: Facilita actualizaciones futuras sin comprometer la operación.

- Interoperabilidad: Elegir sistemas que cumplan que permitan la integración entre diferentes tecnologías y fabricantes.
- Control de acceso y autenticación fuerte: Aplicar autenticación multifactor para accesos remotos y locales a sistemas críticos.
- Actualización constante de firmware y parches: Incluir procedimientos de actualización segura como parte del mantenimiento.
- Capacitación del personal técnico y de usuarios: Para asegurar el uso correcto y seguro de los sistemas.
- Políticas claras de operación y mantenimiento: Documentar protocolos, responsabilidades y procedimientos.
- Gobernanza de datos: Establecer quién accede, gestiona y utiliza los datos recopilados, bajo principios de privacidad y seguridad.

### **11.3.6. Resultados obtenidos objetivo 3**

### **11.3.7. Análisis Multivariado**

Los resultados del Análisis de Componentes Principales (ACP) permiten abordar con claridad los objetivos 3 y 4. En primer lugar, para el objetivo "Examinar los desafíos y oportunidades en la adopción de sistemas de información para la gestión de recursos y mantenimiento en edificios sostenibles", se observa que el primer componente (Dim.1), que explica cerca del 50% de la varianza total, agrupa fuertemente variables como Manejo\_desechos (0.599), Temperatura\_edificio (0.556), Averías (0.545), Iluminación (0.526), y Concepto\_Ed\_Sostenible (0.510). Este agrupamiento revela que la percepción positiva sobre el ambiente interior y los sistemas de mantenimiento está estrechamente

vinculada con la adopción y efectividad de sistemas de información. La alta carga de estas variables sugiere que los sistemas digitales podrían facilitar el control ambiental, el seguimiento de averías y la eficiencia del manejo de residuos, aspectos críticos para prolongar la vida útil de los edificios.

**Dimensión 1 (49.93% de la varianza explicada)**

En la tabla 23, se logra identificar las Contribución y calidad de representación de variables en el análisis factorial.

**Tabla 23.**

*Tabla Contribución y calidad de representación de variables en el análisis factorial*

<b>Variable</b>	<b>cos<sup>2</sup></b>	<b>ctr (%)</b>
<b>Manejo de desechos</b>	0.599	10.914
<b>Temperatura del edificio</b>	0.556	10.123
<b>Averías</b>	0.545	9.929
<b>Iluminación</b>	0.526	9.584
<b>Espacios verdes</b>	0.516	9.386
<b>Concepto de ed. sostenible</b>	0.510	9.277

*Nota:*  $\cos^2$  representa la calidad de representación de cada variable sobre el plano factorial (valores cercanos a 1 indican mejor representación); *ctr (%)* representa la contribución relativa de cada variable a la dimensión analizada. Las celdas en blanco corresponden a datos no reportados en la tabla original

Estas variables explican la mayor parte del componente 1, centrado en condiciones del entorno y percepción general del edificio, vinculadas a sostenibilidad operativa.

En relación con el objetivo, "Identificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles", el segundo y tercer componentes (Dim.2 y Dim.3) explican conjuntamente otro 22.6% de la varianza y destacan variables como Planta\_física y Mantenimiento, con cargas elevadas en Dim.3 (0.567 y 0.485, respectivamente). Esto sugiere que una estrategia efectiva debería incluir sistemas orientados al mantenimiento predictivo y al estado físico del edificio, los cuales son esenciales para la sostenibilidad operativa. Asimismo, la variable Concepto\_Ed\_Sostenible mantiene una influencia significativa en Dim.3, lo que indica que la comprensión y apropiación del concepto de sostenibilidad por parte de los usuarios también es clave en la adopción exitosa de estos sistemas.

#### **Dimensión 2 (13.23% de la varianza explicada)**

En la tabla 24, se logra identificar la calidad de representación ( $\cos^2$ ) y contribución (ctr) de variables en la Dimensión 2 del análisis factorial

**Tabla 24.**

*Calidad de representación ( $\cos^2$ ) y contribución (ctr) de variables en la Dimensión 2 del análisis factorial*

<b>Variable</b>	<b><math>\cos^2</math></b>	<b>ctr (%)</b>
<b>Interior del edificio</b>	0.327	22.495
<b>Calidad del aire</b>	0.236	16.202
<b>Averías</b>	0.213	14.637
<b>Temperatura del edificio</b>	0.134	10.909
<b><i>Iluminación</i></b>	<b><i>0.134</i></b>	<b><i>9.217</i></b>

*Nota:*  $\cos^2$  indica el grado de calidad de representación de las variables sobre el segundo componente principal del análisis (valores más altos implican mayor fidelidad en

la representación). *ctr* (%) representa la contribución porcentual de cada variable a dicha dimensión. Las celdas vacías corresponden a valores no reportados en la tabla fuente.

Este componente refleja aspectos de confort interior y respuesta del sistema a fallos, lo que puede estar relacionado con la experiencia de usuario y eficiencia de los sistemas de reporte.

### **Dimensión 3 (9.38% de la varianza explicada)**

En la tabla 25, se logra identificar la contribución de variables seleccionadas a la Dimensión 3 del análisis factorial.

**Tabla 25.**

*Contribución de variables seleccionadas a la Dimensión 3 del análisis factorial*

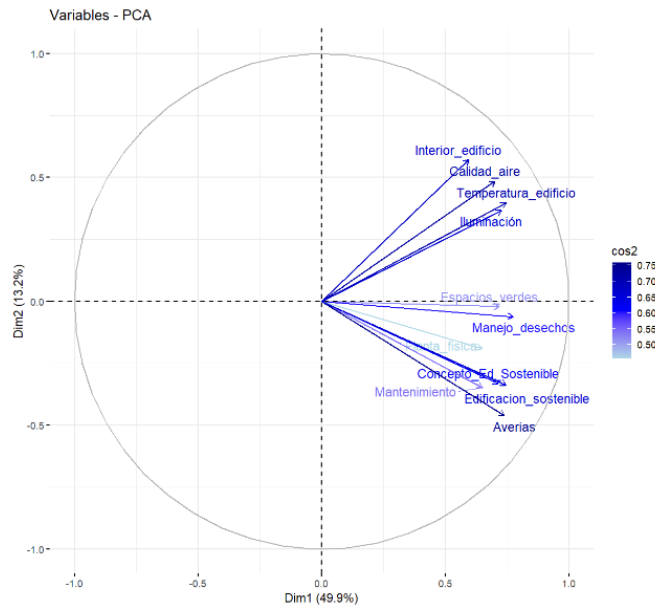
<b>Variable</b>	<b>cos<sup>2</sup></b>	<b>ctr (%)</b>
<b>Planta física</b>	0.322	31.175
<b>Mantenimiento</b>	0.236	22.854
<b>Concepto de ed. sostenible</b>	0.208	20.188

*Nota:* *cos<sup>2</sup>* representa la calidad de representación de cada variable en la Dimensión 3 del análisis de componentes principales. *ctr (%)* corresponde al porcentaje de contribución relativa a dicha dimensión. Las celdas vacías indican que los valores no fueron reportados o no alcanzaron el umbral de relevancia.

Esta dimensión se asocia principalmente con la gestión técnica de infraestructura y el conocimiento conceptual de sostenibilidad, clave para el diseño de políticas de mantenimiento y concienciación.

**Figura 11.**

*Representación de variables sobre el plano factorial (PCA)*



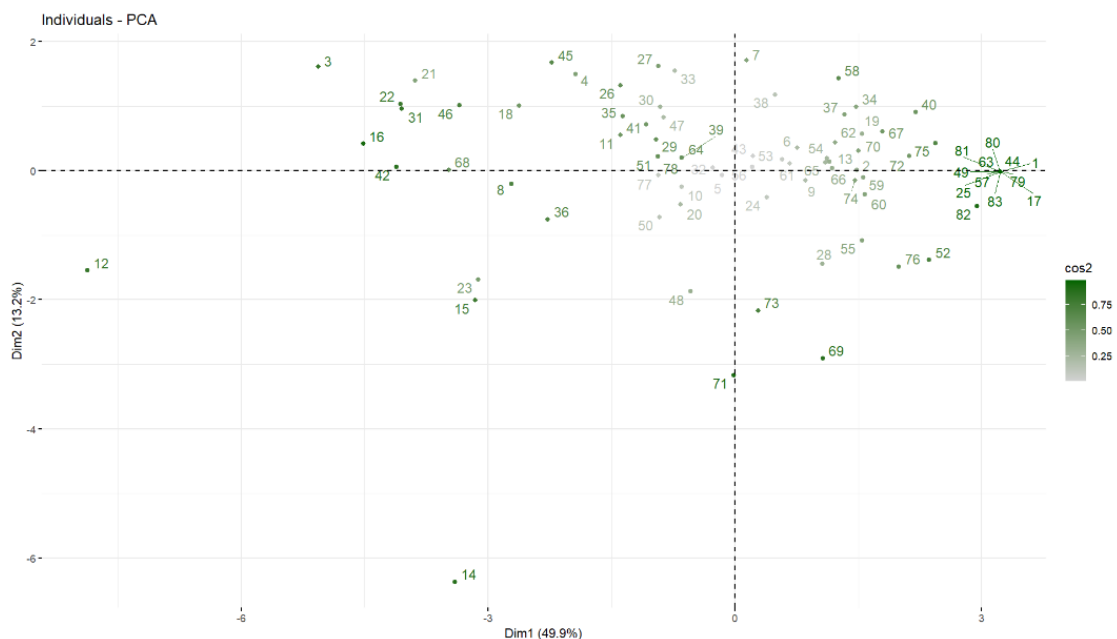
*Nota:* El gráfico muestra la distribución de las variables sobre los dos primeros componentes principales del Análisis de Componentes Principales (PCA). El eje horizontal (Dim1) explica el 49.9 % de la varianza y el eje vertical (Dim2) el 13.20 %. La intensidad del color azul representa el valor de  $\cos^2$ , que indica la calidad de representación de cada variable en el plano. Valores más oscuros reflejan una mejor representación de la variable en la proyección bidimensional.

En la gráfica anterior se observa (que) las variables *Interior\_edificio*, *Calidad\_aire*, *Temperatura\_edificio* e *Iluminación* se agrupan de manera cercana, lo cual sugiere que los usuarios asocian el interior del edificio con aspectos como la calidad del aire, la temperatura y la iluminación. Del mismo modo, se aprecia que las variables *Planta\_fisica*, *Concepto\_Ed\_sostenibles*, *Mantenimiento*, *Edificación\_sostenible* y *Averías* se agrupan en una misma zona, lo cual sugiere que los encuestados tienen un nivel de conocimiento relacionado con la sostenibilidad, la infraestructura del edificio y su adecuada gestión.

Por otro lado, las variables *Manejo\_desechos* y *Espacios\_verdes* se encuentran alejadas de los otros dos grupos, lo que indica que son percibidas como elementos independientes o de menor relevancia por parte de los encuestados. Esto podría deberse a que, en un edificio sostenible y bien gestionado, estos aspectos se consideran resueltos o implícitamente cubiertos, por lo que no representan una preocupación prioritaria.

**Figura 12.**

*Distribución de individuos sobre los dos primeros componentes principales (PCA)*



*Nota:* El gráfico presenta la proyección de los individuos (encuestados) sobre los dos primeros componentes principales del análisis factorial. La dimensión 1 explica el 49.9 % de la varianza y la dimensión 2 el 13.2 %. La intensidad del color verde representa los valores de  $\cos^2$ , indicando la calidad de representación de cada observación: los puntos más oscuros están mejor representados en el plano bidimensional.

En la gráfica anterior se observa una alta dispersión de las variables. La primera dimensión (Dim1) explica el 49,9 % de la varianza, lo que indica una considerable

variación en las respuestas. Esto sugiere que existen diferencias notables en la percepción de los encuestados respecto a la importancia de aspectos como el manejo de desechos, la temperatura del edificio, las averías, la iluminación, los espacios verdes y el concepto de edificación sostenible.

En conjunto, los resultados del ACP evidencian que los factores técnicos (como el mantenimiento y la operación física del edificio) y los factores perceptivos (como el confort ambiental y la familiaridad con la sostenibilidad) están interrelacionados, y deben ser considerados integralmente para superar desafíos y potenciar las oportunidades en la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles.

De acuerdo con los resultados obtenidos y en concordancia con los datos analizados a lo largo de este documento, se concluye que los principales desafíos y oportunidades en la implementación de sistemas de información para el mantenimiento de edificaciones con certificación LEED son los siguientes.

En la tabla 26, se logra identificar los desafíos y oportunidades en la implementación de sistemas de información en edificaciones sostenibles.

**Tabla 26.**

*Desafíos y oportunidades en la implementación de sistemas de información en edificaciones sostenibles*

<b>Desafíos</b>	<b>Oportunidades</b>
- Falta de compatibilidad entre plataformas	- Uso de estándares abiertos Inteligencia artificial para mantenimiento predictivo y automatización

- Altos costos iniciales de implementación	- Reducción del costo operativo y energético a mediano plazo
- Resistencia al cambio por parte del personal técnico- Falta de capacitación y competencias digitales	- Desarrollo de una cultura de datos y eficiencia- Capacitación continua y profesionalización del personal
- Curva de aprendizaje en el uso de plataformas	-Monitorización en tiempo real para la eficiencia de recursos (energía, agua, clima interior)

*Nota:* Esta tabla resume los principales desafíos técnicos, económicos y humanos identificados en el estudio, así como las oportunidades estratégicas asociadas al uso de sistemas de información en edificios sostenibles con certificación LEED

Otros aspectos claves identificados durante las tres entrevistas realizadas son con respecto a los desafíos y oportunidades:

#### **11.3.8. Desafíos identificados en las entrevistas:**

##### **Resistencia al cambio:**

- Falta de capacitación del personal en tecnologías emergentes.
- Cultura organizacional tradicional que desconfía de sistemas automatizados.

##### **Altos costos iniciales:**

- Inversión significativa en hardware, software y capacitación.
- Dificultad para justificar el ROI en etapas tempranas.

##### **Integración de sistemas:**

- Incompatibilidad entre plataformas normalmente antiguas y nuevas soluciones.
- Falta de estandarización en protocolos de comunicación (IoT, BIM).

##### **Calidad de los datos:**

- Datos fraccionados o inexactos que afectan la toma de decisiones.

- Dificultad para monitorear indicadores de sostenibilidad (huella de carbono).

**Regulaciones y normativas:**

- Cumplimiento con estándares locales e internacionales (LEED, BREEAM).

**11.3.9. Oportunidades identificadas en las entrevistas:**

**Optimización de recursos:**

- Reducción de consumo energético y costos operativos mediante monitoreo en tiempo real.
- Uso de analytics para predecir fallos en equipos (mantenimiento predictivo).

**Sostenibilidad:**

- Sistemas de información facilitan la medición y reporte de KPIs ambientales.
- Integración con energías renovables y gestión inteligente de residuos.

**Colaboración interdisciplinaria:**

- Plataformas centralizadas que integren a arquitectos, ingenieros y gestores.

**Innovación tecnológica:**

- Adopción de IoT, IA y blockchain para transparencia en la cadena de suministro.

**11.4. Desarrollo Objetivo 4. Identificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles.**

Para el desarrollo del presente objetivo, se utilizó el mismo análisis y caracterización de las encuestas y entrevistas realizadas para la obtención de datos del objetivo tres. Para una revisión detallada de dicho análisis, se recomienda remitirse a la sección correspondiente del objetivo anterior.

No obstante, aunque los datos e información analizados son los mismos, este objetivo se enfoca en identificar y verificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información sostenibles. Estas prácticas fueron reconocidas como comunes en las tres edificaciones analizadas, en las cuales se logró

entrevistar a tres personas vinculadas directamente con las áreas de mantenimiento:  
Edificio Legacy, Edificio Amarillo y Centro Comercial El Edén.

#### 11.4.1. Resultados obtenidos objetivo 4

Este objetivo se centró en identificar las mejores prácticas y estrategias de implementación de sistemas de información sostenibles en edificios con certificación LEED. A través de entrevistas a personal técnico de mantenimiento de tres edificios (Edificio Legacy, Edificio Amarillo y Centro Comercial El Edén), se obtuvieron datos valiosos sobre cómo estas prácticas se aplican en entornos reales.

En la tabla 27, se logra identificar las mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles.

**Tabla 27.**

*Mejores prácticas y estrategias para la implementación de sistemas de información en edificios sostenibles*

Área de Acción	Mejores Prácticas	Estrategias	Caso de Éxito
<b>Planificación</b>	Pilotaje en áreas críticas	Alianzas con universidades	"Proyecto piloto en HVAC redujo fallos en un 40%"
<b>Tecnología</b>	Selección de plataformas abiertas	Benchmarking con líderes del sector	"Uso de estándares Haystack para interoperabilidad"

Área de Acción	Mejores Prácticas	Estrategias	Caso de Éxito
<b>Personas</b>	Capacitación continua	Comunicación transparente con stakeholders	"Encuestas mensuales ajustaron la UX del sistema"
<b>Datos</b>	Dashboards para KPIs de sostenibilidad	Blockchain para trazabilidad	"Medición automática de huella de carbono con Power BI"

*Nota: La tabla muestra áreas clave de acción para el éxito en la implementación de tecnologías informáticas en edificaciones sostenibles, acompañadas de estrategias y casos reales identificados durante la investigación.*

Práctica destacada: El uso de proyectos piloto en áreas críticas antes de una implementación masiva del sistema fue identificado como un enfoque clave para reducir riesgos. Esto permite evaluar el rendimiento y la aceptación de la tecnología a pequeña escala. Ejemplo concreto: En uno de los casos, se implementó un sistema de monitoreo HVAC en una zona específica del edificio, logrando una reducción del 40% en fallos operativos.

#### 11.4.2. Mejores prácticas extraídas de las entrevistas:

##### Enfoque gradual:

- Pilotaje de sistemas en áreas críticas antes de escalar. Por ejemplo, Implementar sensores IoT en zonas de alto consumo energético.

##### Capacitación continua:

- Programas de formación para usuarios finales y equipos técnicos.

- Talleres sobre interpretación de datos para la toma de decisiones.

**Selección de tecnología adecuada:**

- Evaluar proveedores con experiencia en sostenibilidad (soluciones certificadas por LEED).
- Priorizar interoperabilidad (APIs abiertas) sobre funcionalidades aisladas.

**Gobernanza de datos:**

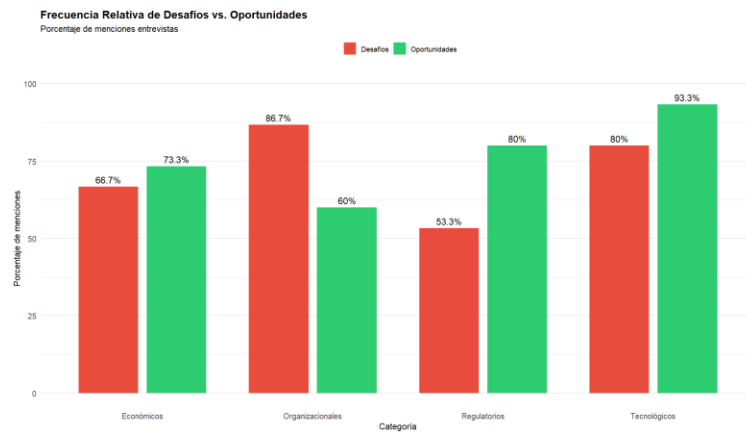
- Establecer protocolos para recopilar, limpiar y almacenar datos.
- Uso de dashboards personalizados para visualizar métricas clave.

En el proceso de transición hacia edificaciones más sostenibles, es fundamental comprender los principales desafíos y oportunidades que enfrentan los diferentes actores del sector. La siguiente tabla presenta un análisis de la frecuencia relativa de menciones, según entrevistas realizadas, categorizadas en ámbitos económicos, organizacionales, regulatorios y tecnológicos.

Este análisis sirve como insumo clave para orientar estrategias de acción, tales como el establecimiento de alianzas estratégicas, la implementación de buenas prácticas internacionales, la búsqueda de financiamiento sostenible y el fortalecimiento de una comunicación participativa. Identificar en qué áreas se perciben más obstáculos o mayores oportunidades permite focalizar los esfuerzos y maximizar el impacto positivo de las decisiones de diseño, inversión y operación en proyectos de construcción sostenible.

**Figura 13.**

*Frecuencia relativa de desafíos vs oportunidades*



*Nota:* Elaboración propia

### 11.4.3. Estrategias Clave para el Desarrollo de Edificios Sostenibles

#### Alianzas Estratégicas

Colaborar con universidades, centros de investigación o startups tecnológicas permite acceder a innovaciones emergentes, como materiales inteligentes, sistemas de automatización energética o soluciones de economía circular. Estas alianzas también facilitan pruebas piloto y validación de nuevas tecnologías.

#### Benchmarking de Buenas Prácticas

Analizar casos de éxito, como el edificio **The Edge** en los Países Bajos, permite identificar tecnologías, procesos de diseño y modelos operativos replicables. Este análisis comparativo brinda insights sobre eficiencia energética, integración de IoT, y gestión inteligente de recursos.

#### Financiamiento Creativo y Sostenible

Explorar mecanismos como:

- Subsidios gubernamentales
- Incentivos fiscales por eficiencia energética
- Bonos verdes

### **Alianzas público-privadas (APP)**

Esto permite reducir costos iniciales y mejorar la viabilidad económica del proyecto.

### **Comunicación Transparente y Participativa**

Involucrar a todos los stakeholders —desde diseñadores, inversores y autoridades hasta usuarios finales— desde las etapas iniciales del proyecto. La transparencia en objetivos, beneficios y riesgos genera confianza y fomenta el compromiso con la sostenibilidad.

Además de analizar la frecuencia relativa dentro de cada categoría, es esencial comprender el peso específico que representa cada tipo de desafío u oportunidad en el total de menciones recopiladas. La siguiente gráfica presenta el peso relativo de las categorías económicas, organizacionales, regulatorias y tecnológicas, diferenciando entre desafíos (en rojo) y oportunidades (en verde).

Este enfoque permite identificar cuáles ámbitos concentran una mayor atención o preocupación por parte de los actores entrevistados. Por ejemplo, las categorías tecnológica y organizacional agrupan el mayor volumen de menciones, lo cual señala áreas prioritarias tanto para superar obstáculos como para potenciar innovaciones. Esta visión global refuerza la necesidad de implementar estrategias como alianzas estratégicas, financiamiento sostenible, benchmarking internacional y comunicación participativa, adaptadas a las áreas con mayor impacto relativo en la transformación hacia edificaciones sostenibles.

La sostenibilidad no solo aporta beneficios ambientales y sociales, sino que también puede traducirse en reducciones significativas de costos operativos y financieros. La siguiente tabla presenta una estimación del impacto porcentual de distintas estrategias en métricas clave de reducción de costos, con base en entrevistas realizadas a expertos y profesionales del sector.

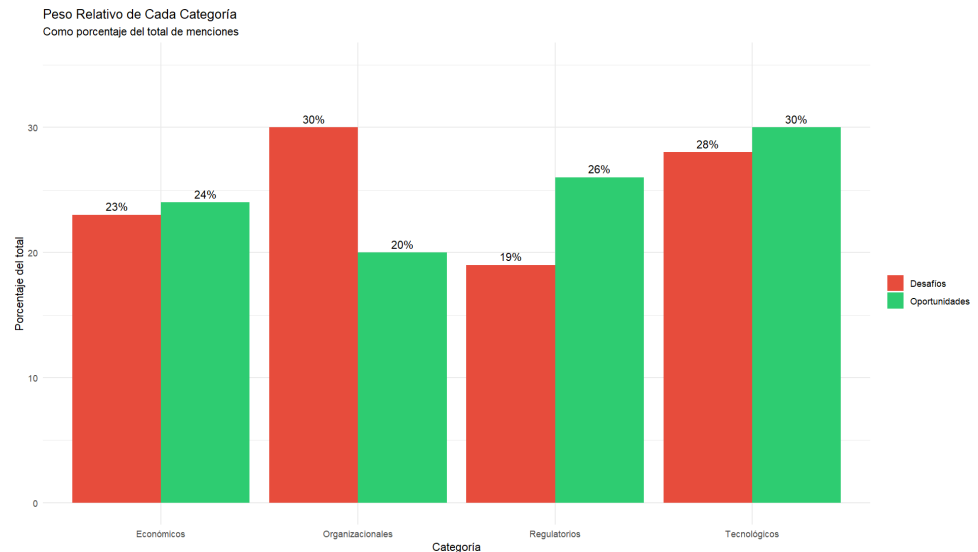
Cada estrategia evaluada —desde financiamiento verde hasta alianzas estratégicas y capacitación continua— ha sido valorada según su potencial para contribuir en cuatro frentes fundamentales:

- Eficiencia operativa
- Reducción de costos energéticos
- Reducción de costos de mantenimiento
- Retorno sobre la inversión (ROI) alcanzado

El análisis evidencia que algunas estrategias, como el uso de dashboards de KPIs y capacitación continua, generan un alto impacto en eficiencia y mantenimiento, mientras que las alianzas estratégicas destacan por su efecto en el ROI. Esta información resulta clave para priorizar intervenciones que no solo sean sostenibles, sino también financieramente viables y escalables.

**Figura 14.**

*Peso relativo de desafíos vs oportunidades*



*Nota: Elaboración propia*

De acuerdo con el análisis de las tres entrevistas realizadas a los responsables de sostenibilidad y operación en Centro Comercial El Edén, el Edificio EAN Legacy y el Edificio Corporativo Amarillo, se identificaron diversos retos comunes y oportunidades estratégicas en la gestión de edificaciones sostenibles. Estos casos, representativos de distintas tipologías (comercial, educativa y corporativa), ofrecen una visión amplia y complementaria sobre los factores que inciden en la implementación de prácticas sostenibles desde la perspectiva de los usuarios reales de los sistemas.

A pesar de las diferencias en el contexto operativo de cada edificio, las entrevistas revelan una coincidencia en tres grandes desafíos transversales: la resistencia al cambio dentro de las organizaciones, la fragmentación de datos en los sistemas de información, y los altos costos iniciales asociados a la sostenibilidad. No obstante, también se evidenció que dichos obstáculos pueden ser superados mediante soluciones estratégicas concretas, apoyadas en tácticas bien definidas y con impactos esperados medibles en términos de eficiencia, adopción tecnológica y retorno de inversión.

En la tabla 28, se logra identificar los desafíos e impactos

**Tabla 28.**

*Identificación de desafíos e impactos*

<b>Desafío</b>	<b>Solución</b>	<b>Tácticas Clave</b>	<b>Impacto</b>
<b>Identificado</b>	<b>Propuesta</b>		<b>Esperado</b>
Resistencia al cambio	Capacitación gamificada	- Talleres prácticos con simuladores- Contenidos	+30% en tasa de adopción tecnológica en 6 meses

<b>Desafío Identificado</b>	<b>Solución Propuesta</b>	<b>Tácticas Clave</b>	<b>Impacto Esperado</b>
		interactivos personalizados	
Fragmentación de datos	Plataforma centralizada (BIM + IoT)	- Integración mediante APIs- Normalización de datos entre sistemas	Reducción del 50% en errores de reporte
Altos costos iniciales	Financiamiento verde	- Acuerdos con proveedores para pagos escalonados- Acceso a bonos climáticos	Recuperación de inversión en menos de 4 años

*Nota.* La tabla presenta de manera general los principales desafíos que implica la implementación de sistemas de información, en contraste con los impactos positivos y las oportunidades que surgen a partir de su uso en edificaciones sostenibles.

Este análisis muestra que la transformación hacia edificaciones sostenibles no depende únicamente de tecnología, sino de la capacidad institucional de gestionar el cambio, la adopción de herramientas interoperables y la articulación de esquemas financieros adecuados. Las mejores prácticas identificadas en los tres casos giran en torno a la preparación organizacional, la escalabilidad tecnológica y la alineación de los proyectos con objetivos ambientales y de negocio.

## 12. Discusión

Este estudio tiene como propósito evaluar el impacto de los sistemas de información en la gestión de recursos y el mantenimiento de edificios sostenibles. Para ello, se analiza su contribución a una gestión eficiente, su influencia en la prolongación de la vida útil de las edificaciones, los principales desafíos y oportunidades en su adopción, así como las mejores prácticas y estrategias para su implementación efectiva.

Una de las consideraciones relevantes del estudio está relacionada con el tamaño y la representatividad de la muestra. La investigación se centró en tres casos emblemáticos de edificios sostenibles en Bogotá: el Centro Comercial El Edén, el Edificio Amarillo y el Edificio EAN Legacy y con certificación LEED. Estos casos proporcionan información valiosa que permite comprender en profundidad el comportamiento de edificaciones sostenibles en contextos locales, así como el papel que desempeñan los sistemas de información en su administración y en el mantenimiento de dicha certificación.

La información recopilada en estos entornos constituye una base sólida para el análisis y abre un camino relevante en un campo aún poco explorado en Colombia: el uso de sistemas de información en la operación sostenible de edificaciones. Este enfoque ofrece una perspectiva innovadora, no solo para enriquecer el ámbito académico, sino también para orientar decisiones prácticas en el diseño, mantenimiento y gestión de infraestructura sostenible.

Entre los principales aportes del estudio se destaca el análisis del impacto que tienen los sistemas de información en la optimización de costos de mantenimiento, evidenciado especialmente en la reducción de gastos mediante el mantenimiento predictivo, el ahorro en servicios públicos y los beneficios tributarios asociados.

Cabe señalar que esta investigación aborda un tema que aún no está ampliamente adoptado en la construcción de edificaciones en el país, lo cual limitó el estudio a las construcciones disponibles en la ciudad donde se desarrolló. Sin embargo, se prevé que a medida que este tipo de construcción se expanda e integre tecnologías emergentes como inteligencia artificial IA, Big Data e IoT, será posible contar con muestras más amplias y con mayor madurez tecnológica, lo que permitirá realizar análisis más detallados.

Finalmente, este trabajo abre una línea de reflexión sobre la necesidad de fortalecer una cultura digital en la operación de edificaciones sostenibles, donde el uso estratégico de la información sea parte integral de la gestión diaria. La formación continua, la interoperabilidad de plataformas y la trazabilidad de indicadores emergen, según los hallazgos, como elementos clave para avanzar hacia una infraestructura más resiliente, eficiente y consciente del uso de los recursos.

### 13. Contribuciones

Esta investigación aporta de manera significativa al campo de la sostenibilidad en edificaciones, particularmente en el contexto colombiano, al evidenciar cómo los sistemas de información, cuando son adecuadamente implementados, pueden convertirse en herramientas estratégicas para mejorar la eficiencia operativa, reducir el impacto ambiental y prolongar la vida útil de los edificios.

En primer lugar, el estudio proporciona evidencia empírica sobre los beneficios concretos del uso de tecnologías como IoT, BMS, dashboards y plataformas interoperables, destacando su capacidad para optimizar el mantenimiento predictivo, monitorear variables clave en tiempo real y reducir consumos innecesarios de recursos. Esta información representa un insumo valioso para tomadores de decisiones, diseñadores y operadores de edificios sostenibles.

Además, la investigación visibiliza las barreras comunes en la adopción de estos sistemas, como la falta de capacitación técnica, los altos costos de inversión inicial y la resistencia al cambio organizacional. Al sistematizar estas limitaciones junto con oportunidades emergentes —como el acceso a financiamiento verde o el uso de estándares abiertos—, el trabajo ofrece un marco de referencia práctico para futuras implementaciones tecnológicas en el sector construcción.

Una de las principales contribuciones metodológicas es la articulación de técnicas cuantitativas y cualitativas, mediante el uso de encuestas a usuarios finales, entrevistas a responsables de mantenimiento y análisis factorial. Esta triangulación permitió una comprensión más integral del fenómeno, superando enfoques puramente técnicos o subjetivos.

En términos de impacto aplicado, el estudio propone un modelo de buenas prácticas organizadas en torno a cuatro dimensiones clave: planificación, tecnología, personas y datos. Este modelo puede ser adoptado y adaptado por empresas, entidades públicas o privadas interesadas en incorporar tecnologías de información a sus proyectos de sostenibilidad.

Finalmente, el trabajo abre una línea de reflexión importante sobre la necesidad de fortalecer una cultura digital en la operación de edificaciones sostenibles, donde el uso estratégico de la información sea parte de la gestión diaria y no un recurso aislado. La formación continua, la interoperabilidad de plataformas y la trazabilidad de indicadores son, según los hallazgos, elementos clave para avanzar hacia una infraestructura más resiliente, eficiente y consciente del uso de los recursos.

#### **14. Conclusiones y Trabajo Futuro**

El análisis realizado permitió evidenciar que los sistemas de información, particularmente aquellos integrados con tecnologías como IoT, BMS y plataformas interoperables, tienen un impacto positivo y significativo en la gestión eficiente de recursos y en la prolongación de la vida útil de los edificios sostenibles. A través de herramientas de monitoreo en tiempo real, mantenimiento predictivo y toma de decisiones basada en datos, estas soluciones contribuyen a optimizar el uso de energía, reducir costos operativos y mejorar el confort de los usuarios. Los resultados de las encuestas aplicadas y las entrevistas realizadas a responsables de mantenimiento en edificaciones con certificación LEED confirman estos beneficios y validan la importancia de la transformación digital en el sector.

Sin embargo, también se identificaron desafíos importantes como la falta de compatibilidad entre plataformas, la resistencia al cambio por parte del personal operativo, y los altos costos iniciales de implementación. Estas barreras limitan la adopción efectiva de sistemas de información, especialmente en contextos donde no existen procesos de capacitación estructurados o políticas institucionales que fomenten la innovación tecnológica.

Como trabajo futuro, se propone ampliar la muestra a otros tipos de edificaciones (hospitalarias, industriales, residenciales), así como desarrollar estudios longitudinales que permitan evaluar el impacto de estas tecnologías a lo largo del tiempo. Igualmente, sería pertinente explorar con mayor profundidad el papel de la inteligencia artificial y el análisis predictivo en la gestión proactiva de fallos, así como el uso de plataformas abiertas para mejorar la interoperabilidad entre sistemas. Finalmente, es recomendable fortalecer la cultura digital entre los usuarios y operadores de edificios mediante

programas de formación continua y herramientas intuitivas que faciliten la apropiación tecnológica.

La hipótesis fue validada mediante el análisis de información primaria y secundaria, concluyendo, que se comprobó que la implementación de Sistemas de Información contribuye efectivamente a prolongar la vida útil de los edificios y a mantener los estándares de sostenibilidad, principalmente en lo relacionado con eficiencia energética y gestión de recursos.

Sin embargo, se evidenció que su impacto depende de factores contextuales, como el nivel de capacitación del personal, la inversión en infraestructura tecnológica y la disposición institucional para adaptar los procesos de mantenimiento.

## 15. Referencias

- Anink, Boonstra, Mak. (2006). *Guide to sustainable building: A practical manual on building design and construction*. Publisher.
- BBVA. (2024). *Cómo la innovación sostenible ha cambiado la construcción*.  
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/como-la-innovacion-ha-cambiado-la-construccion-sostenible/>
- Bioconstrucción. (n.d.). *Bioconstrucción*. [https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/#:~:text=La%20Certificaci%C3%B3n%20LEED%20\(Liderazgo%20en,\(U.S.%20Green%20Building%20Council\).](https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/#:~:text=La%20Certificaci%C3%B3n%20LEED%20(Liderazgo%20en,(U.S.%20Green%20Building%20Council).)
- Brundtland. (1987). *Informe Our Common Future: Brundtland Report* Noruega : Oxford University Press (ONU).
- CAMACOL. (2020). *Introducción a la construcción sostenible* . Bogotá: Cámara Colombiana de la Construcción 2020.
- Carlemany, Universitat. (2023, Junio 13). *Universitat Carlemany*.  
<https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/blog/materiales-sostenibles-para-disminuir-la-contaminacion/#:~:text=Recordemos%20que%20los%20materiales%20sostenibles,y%20perdurar%20en%20el%20tiempo.>
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común: Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*.
- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, CCCS. (2023). *Panorama LEED en Colombia 2023*: <https://www.cccs.org.co/>
- Cuerva. (2024, enero, 25). *BMS: qué es y para qué sirve un sistema de gestión de edificios*: <https://cuervaenergia.com/es/comunidad/innovacion/bms-que-es/>

- Deci, E. L. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Plenum Press.
- Defilippi-Shinzato, M. C.-P.-C.-T.-D.-H.-D. (2024). *Desempeño ambiental y percepción social de una edificación con certificación ambiental. Estudio de caso del hotel de tres estrellas en Miraflores*. <https://doi.org/10.4206/aus.2024.n35-09>.
- Energylephant. (s.f.). *Energylephant*. Retrieved from [https://energylephant-com.translate.google/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es-419&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://energylephant-com.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)
- Europea, C. (2020). *Plan de Acción para la Economía Circular: Una nueva Estrategia para la Economía Circular*. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip\\_20\\_420](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_420)
- Fama-systems.com. (s.f.). <https://www.fama-systems.com/sistema-de-gestion-de-sostenibilidad/#funcionalidades>
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Fernández-Sánchez, G. R.-L. (2010). *A methodology to identify sustainability indicators in construction project*.
- Fractal. (2024, Agosto 20). Retrieved from *El futuro del mantenimiento en edificios inteligentes*: <https://www.fractal.com/es/blog/futuro-del-mantenimiento-de-edificios-inteligentes>
- Futureproofed.com. (2024). *Gestión del carbono: medir, reducir e informar con facilidad*. <https://es.futureproofed.com/products/business>
- García, S. (2010). *Organización y Gestión Integral del Mantenimiento*. Díaz de Santos Edición 1.

- Green Building Council (USGBC). (2019). *USGBC accelerates and scales transformation of the built environment to minimize climate impacts and enhance the well-being of people, the environment and communities worldwide*. <https://www.usgbc.org/>.
- Haidar Hosamo Hosamo, P. R. (2022). *Un marco de mantenimiento predictivo Digital Twin de unidades de tratamiento de aire basado en detección y diagnóstico automático de fallos*. *Energía y Edificios*, 2-20.
- Hogar Sostenible. (2024). *Información relevante sobre sostenibilidad, eficiencia energética, reciclaje, ecología, viviendas verdes y todo lo necesario para un mundo más sostenible*. <https://hogar-sostenible.es/paises-lideres-arquitectura-sostenible/>
- Hospitecnia. (2017, noviembre 14). <https://hospitecnia.com/articulos-destacados/necada-software-para-la-arquitectura-sostenible/>
- Lara-Zamudio, B. R.-C. (2024). *Comparative Study of Passive Strategies to Favor the Thermal Comfort in Multi-Family Dwellings in Warm Weather*. Ricaurte, Colombia.
- Leaf Latinoamérica. (2024). *Sostenibilidad para todos*. <https://leaflatam.com/edificios-con-certificacion-leed-en-colombia/>
- Li, H. &. (2018). Energy-efficient building management systems. *Energy Reports*, 156-165.
- Martínez, R. Q. (2017). *Cepal.org.Importancia y Desarrollo de las Estadísticas e Indicadores Ambientales en América Latina y el Caribe*: [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/1.3\\_importancia\\_y\\_desarrollo\\_de\\_las\\_estadisticas\\_e\\_indicadores\\_ambientales\\_en\\_america\\_latina\\_y\\_el\\_caribe.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/1.3_importancia_y_desarrollo_de_las_estadisticas_e_indicadores_ambientales_en_america_latina_y_el_caribe.pdf)

- Mickaeal, A. (2023, 07 20). *A deep dive into building management systems: revolutionizing building efficiency*. <https://www.cim.io/blog/a-deep-dive-into-building-management-systems-revolutionizing-building-efficiency>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *Construcción Sostenible*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022). *Ciudad y Territorio (Colombia), "Estrategias para la construcción sostenible en Colombia*. Retrieved from <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/>
- Moreno, E. G. (1999). *Automatización de Procesos industriales, Robótica y Automática*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Retrieved from <https://www.un.org/es/>: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ñaupas Humberto, M. E. (2023). *Metodología de la Investigación Total 6a edición*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Orbesan. (2024, 04 26). *Claves para la gestión eficiente de proyectos de construcción*. Retrieved from <https://orbesan.es/claves-para-la-gestion-eficiente-de-proyectos-de-construccion/>
- Pesquisa, R. (2020, Enero). <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/la-financiacion-de-la-investigacion-cientifica-en-las-universidades-de-estados-unidos/>
- PU, M. (2021). *Desafíos de la construcción sostenible y cómo superarlos*. <https://mundopu.com/es/constructores/desafios-de-la-construccion-sostenible-y-como-superarlos/>

- Ramirez, A. (2018). *La construccion sostenible*. España: Fisica y sociedad.
- S. van Roosmalea, P. H. (2024, 11 15). Building automation and control systems for office buildings: Technical insights for effective facility management - A literature review. *Journal of Building Engineering*, 2-13. ScienceDirect: <https://www-sciencedirect-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/science/article/pii/S2352710224025117>
- Scopus. (n.d.). <https://www.scopus.com/home.uri>
- Shaikh, P. H. (2013). Intelligent Optimized Control System for Energy and Comfort Management in Efficient and Sustainable Buildings. *Procedia Technology*, 99-106.
- Sostenible, C. C. (2022). *Consejo Colombiano de Construcción Sostenible*.  
<https://www.cccs.org.co/wp/certificacion-leed/>
- Tajfel, H. &. (1979). *An integrative theory of intergroup conflict*. California, Estados: Brooks/Cole.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (s.f.). *Environment Programme*. Retrieved from <https://www.unep.org/>
- Watiofy. (2022, noviembre, 14). *Edificios con diseño pasivo: eficiencia y ahorro energético*. Retrieved from <https://watiofy.com/info/blog/eficiencia-energetica/edificios-con-diseno-pasivo-eficiencia-y-ahorro-energetico/#%C2%BFque-es-el-diseno-pasivo?>
- World Green Building Council. (2019). <https://www.worldgbc.org/>.
- Worldwildlife.org. (2023, Abril 20). *El financiamiento del GCF de la administración Biden reafirma el compromiso de EE. UU. con el liderazgo climático global*.  
<https://www.worldwildlife.org/press-releases/el-financiamiento-del-gcf-de-la-administracion-biden-reafirma-el-compromiso-de-ee-uu-con-el-liderazgo-climatico-global>

Yong Zhao, L. W. (2019). Data-driven decision making in smart buildings: A review of techniques and applications. *Building and Environment*, 133-145.

Zhang, Y. &. (2019). Integrated security systems in smart buildings: A review. *Journal of Safety Science and Technology*, 22-34.

Zhao, Y. (2018). Challenges of integrating legacy systems with modern IoT and cloud technologies. *International Journal of Cloud Computing and Services Science*, 162-173.

Zhao, Y. (2020). Cybersecurity risks in smart building systems: Vulnerabilities and mitigation strategies. *Journal of Building Performance*, 56-70.

**A. Anexo. Resultados encuestas**