RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Diego Armando Carrascal Barbosa Henry Eduardo Quiroga Velandia
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil
DIRECTOR	Elkin Yesid Barbosa Quintero
TÍTULO DE LA TESIS	Edificaciones sostenibles y convencionales: análisis comparativo en el uso de materiales y la gestión del agua
TITULO EN INGLES	Sustainable and conventional buildings: comparative analysis in the use of materials and water management

RESUMEN

La construcción sostenible es necesaria para reducir el impacto ambiental, comparando edificaciones sostenibles y convencionales en cuanto al uso de materiales y modo de gestión del agua, se demuestra que la eficiencia energética y la generación de menos residuos son unos de los beneficios claves para dichas construcciones, proponiendo que la adopción es necesaria para un futuro más sostenible, fortaleciendo las políticas, y sensibilizando sobre las regulaciones sostenibles.

RESUMEN EN INGLES

Sustainable construction is necessary to reduce environmental impact. Comparing sustainable and conventional buildings in terms of the use of materials and water management, it is shown that energy efficiency and the generation of less waste are some of the key benefits for such constructions, proposing that adoption is necessary for a more sustainable future, strengthening policies, and raising awareness about sustainable regulations.

PALABRAS CLAVES	Edificaciones sostenibles, Impacto ambiental, Gestión del agua, convencionales, Regulación.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Sustainable buildings, Environmental impact, Water management, Conventional, Regulation

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 121	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 16	CD-ROM: 1

Edificaciones sostenibles y convencionales: análisis comparativo en el uso de materiales y la gestión del agua.

Diego Armando Carrascal Barbosa

Henry Eduardo Quiroga Velandia

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Esp. Elkin Yesid Barbosa Quintero

Abril 24 de 2025

Índice

Pág.

Introducción 7

Capítulo 1. Análisis Bibliométrico de la Construcción Sostenible 11

1.1 Revisión del material bibliográfico 11

1.2 Análisis Bibliométrico 12

1.3 Discusión de conceptos clave 30

Capítulo 2. Comparación entre Edificaciones Certificadas y No Certificadas 40

2.1 Materiales Sostenibles 42

2.2. Gestión Hídrica 48

2.3 Normativas y Certificaciones 56

Capítulo 3. Estudio de Caso 65

3.1 Selección del Caso de Estudio 67

3.2 Análisis del Uso de Materiales y Gestión del Agua 77

3.2.1 Uso de Materiales 77

3.2.2 Gestión del Agua 84

3.3 Resultados Comparativos 91

3.3.1 Resumen de Hallazgos 100

3.3.1.1 Uso de Materiales. 100

3.3.1.2 Gestión del Agua 102

3.3.1.3 Costos y Rentabilidad. 103

3.3.1.4 Eficiencia Energética y Huella de Carbono 104

4. Conclusiones 106

Referencias..... 111

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1 Resultados de búsqueda 15

Tabla 2 Producción científica por año 15

Tabla 3 Fuentes más relevantes por año 18

Tabla 4 Documentos por autor 21

Tabla 5 Afiliaciones más importantes 23

Tabla 6 Documentos por país o territorio 26

Tabla 7 Comparación de Materiales Utilizados 46

Tabla 8 Comparación de Estrategias de Gestión Hídrica 52

Tabla 9 Comparación de Normativas y Certificaciones 58

Tabla 10 Materiales Utilizados 79

Tabla 11 Gestión Hídrica 86

Tabla 12 Comparación de Indicadores entre Edificación Sostenible y Convencional 95

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Búsqueda con palabra claves en scopus 13

Figura 2 Keyword 14

Figura 3 Producción científica anual 16

figura 4 Fuentes más relevantes por año 18

Figura 5 Documentos por autor 22

Figura 6 Afiliaciones más importantes 24

Figura 7 Documentos por país o territorio 26

Figura 8 Nube de palabras 31

Figura 9 Frecuencia de las palabras claves 35

Figura 10 Iteración entre palabras claves 38

Figura 16 Torre Atrio en Bogotá 69

Resumen

La construcción sostenible se hace necesaria por los impactos negativos de los métodos tradicionales, como el consumo de recursos naturales y la quema de estos, así como la emisión de gases de efecto invernadero. Esta monografía realiza un estudio comparativo de ambos tipos de construcción basándose en la gestión de los recursos hídricos y los materiales. Se llevó a cabo a través de un estudio bibliométrico, revisando algunos documentos normativos bajo legislación nacional e internacional y analizando algunos casos como la Torre Atrio en Bogotá.

Así, los hallazgos sugieren que los edificios sostenibles adoptan innovaciones en la selección y gestión de materiales al emplear materiales recuperados y ecológicos, así como al implementar soluciones tecnológicas para la gestión del agua, como la recolección de agua de lluvia. En contraste, la construcción convencional aún hace un uso excesivo de cemento Portland y acero, aumentando considerablemente las emisiones de carbono y el consumo de energía.

A pesar de los beneficios que la construcción sostenible ofrece, este tipo de construcción presenta retos en su adopción debido a su alto costo inicial y la falta de incentivos. No obstante, su ahorro de recursos y la reducción del impacto ambiental a largo plazo constituyen grandes beneficios. Políticas de este tipo, en consecuencia, requieren un cambio de percepción por parte de los profesionales en el campo, lo cual puede lograrse a través de campañas educativas destinadas a fomentar la adopción. Sustentarse con nuevos recursos, además de superar el cambio climático, ayuda a construir ciudades más responsables y resilientes.

Introducción

La construcción sostenible se ha vuelto cada vez más importante porque aborda el problema de la crisis de recursos, especialmente en la construcción. En este sentido, la construcción es una de las actividades más perjudiciales para el medio ambiente en el mundo, ya que emite cantidades significativas de CO2, consume vastas cantidades de energía y utiliza recursos hídricos esenciales, al tiempo que descarga de manera inapropiada residuos no biodegradables que alteran el equilibrio ecológico. El esfuerzo por mitigar el impacto ambiental negativo mientras se mantiene la integridad, funcionalidad y atractivo estético de la estructura es, por esta razón, un desafío. Así, la construcción sostenible es la respuesta más apropiada, utilizando materiales ecológicos, tecnología adecuada y sistemas avanzados de gestión de recursos. Estos edificios no solo están destinados a minimizar la huella ecológica, sino también a mejorar la eficiencia energética y la salud de los habitantes.

Este estudio es particularmente relevante dentro del contexto del cambio urgente del sector hacia modelos más sostenibles y eficientes en la construcción. A pesar de los avances tecnológicos y regulatorios en la construcción de edificaciones sostenibles, Colombia aún utiliza predominantemente edificios convencionales. Esta reducción se debe a varios factores, incluyendo la ausencia de financiamiento subsidiado, el conocimiento insuficiente generalizado sobre las ventajas de la construcción sostenible, y la percepción de que adoptar tecnologías de construcción verde implica gastos iniciales significativamente más altos. Aunque existen regulaciones y certificados que buscan apoyar el desarrollo de construcciones sostenibles, estos aún se adoptan escasamente en comparación con otros países. Este rezago evidencia la necesidad

de fomentar cambios estructurales en las prácticas de construcción, en las políticas gubernamentales y en la mentalidad de los actores de la industria para poder cambiar rápidamente hacia un modelo más responsable y eficiente.

En este contexto, se considera necesario responder a una pregunta de investigación fundamental: "¿Cuáles son los contrastes más notables entre los edificios sostenibles y los convencionales en términos de gestión de materiales y agua, y cuáles son sus consecuencias para el medio ambiente y la eficiencia en el uso de recursos?" Por lo tanto, las expectativas de la presente monografía tienen como objetivo general comparar edificios sostenibles y edificios convencionales, en lo que respecta a los materiales, la gestión del agua, los impactos ambientales y la eficiencia que dichos recursos ofrecen. A partir de la meta general, se derivan los siguientes objetivos específicos:

Primordialmente, identificar los materiales que se utilizan en la construcción convencional y sostenible para medir el impacto que pueden tener y los beneficios en un contexto ambiental, mientras se ponderan la eficiencia y la durabilidad.

Igualmente, contempla las estrategias de gestión del recurso hídrico integrado vinculadas con cada uno de los tipos de construcción, tales como recolección de aguas pluviales, reutilización de aguas grises y tecnologías eficientes en el uso del agua.

De la misma manera, analizar los requerimientos y el impacto ambiental, así como también los beneficios a partir de la implementación de estrategias sostenibles en la construcción

como la reducción de la huella de carbono, el ahorro en la utilización de recursos naturales, y la mejora en la calidad de vida de la población.

Finalmente, conocer las normas y certificaciones establecidas en la construcción sostenible a nivel mundial para evaluar la recepción ante los requisitos de estándares ambientales en Colombia.

La monografía se centra en la comparación entre edificios sostenibles y edificios tradicionales, en relación con el manejo de materiales y el manejo del agua, con un interés específico sobre el contexto colombiano. Para ello, esta comparación se efectúa teniendo en cuenta reglamentaciones y certificaciones, el estudio de casos y la literatura especializada que permiten comparar los edificios sostenibles y los edificios tradicionales. A su vez, la investigación también se centra en las experiencias de implementación en Colombia y en otros países para saber qué funciona y qué podría ser modificado para su uso en el contexto colombiano.

No obstante, al reconocer estas limitaciones, también necesitamos señalar que hay problemas en el análisis. En primer lugar, la recopilación de información sobre ‘sostenible’ en la construcción de proyectos puede estar limitada a datos sobre costos, materiales, procesos de construcción e incluso su grado de detalle. Además, la adopción de estrategias sostenibles varía enormemente según el entorno económico y político del país, lo que también puede afectar la relevancia de los hallazgos. No obstante, el objetivo de este trabajo es construir un marco teórico

y analítico para diagnosticar los problemas y facilitar el debate sobre la viabilidad de los edificios sostenibles y su papel en la mitigación del cambio climático.

En consecuencia, para lograr una industria de la construcción más sostenible se requiere la participación de todas las agencias gubernamentales y no gubernamentales junto con la academia. De esta manera, la comparación de edificios sostenibles y tradicionales destacará las ventajas y desventajas de ambos, alentando el desarrollo de soluciones que fomenten enfoques más responsables hacia el medio ambiente. Como tal, el desarrollo sostenible no es opcional; por el contrario, es urgentemente necesario en el esfuerzo por construir ciudades resilientes, eficientes y ecológicas.

Capítulo 1. Análisis Bibliométrico de la Construcción Sostenible

1.1 Revisión del material bibliográfico

La sostenibilidad dentro de la construcción ha cobrado auge debido al creciente interés por contener daños ambientales y ecológicos. Como señalaron Wang et al (2021), los procesos de construcción sostenible han logrado mitigar estos impactos a través de una gestión efectiva de recursos y agua. En este sentido, a partir de 2019, tales protocolos de certificación comenzaron a ser adoptados por organizaciones como LEED y EDGE que buscan la ecoeficiencia en el diseño (GhaffarianHoseini et al., 2019).

Por otro lado, estudios como el de Sharma et al. (2020) enfatizan que la adopción de prácticas empresariales sostenibles no solo reduce los impactos ambientales adversos, sino que también presenta un beneficio económico en forma de menores costos operativos y un mayor valor de la propiedad. Esto es fundamental para promover el crecimiento sostenible dentro de la industria de la construcción (Sharma et al., 2020).

Así mismo, el aumento en las publicaciones científicas sobre este asunto refleja el interés creciente por parte del colectivo profesional y científico. Todavía el incremento en productividad académica sirve como un claro indicador de que existe mayor financiamiento para realizar investigación en este campo y que las prácticas de construcción más sostenibles están siendo adoptadas (Zuo & Zhao, 2019).

Por otro lado, la construcción sostenible se está alineando a la economía circular en la optimización del ciclo de vida y reducción de residuos, como sugieren Pomponi y Moncaster (2017). Por lo tanto, este enfoque constructivo eleva el nivel de competitividad en la economía sustentable y, al mismo tiempo, se aporta en la reducción del impacto ecológico (Pomponi & Moncaster, 2017).

Además, el desarrollo de marcos legales y políticas públicas ha permitido la adopción de tecnologías alternativas y ha promovido prácticas responsables a través de subsidios fiscales y certificaciones, como lo indican Cabeza et al. (2020). Por lo tanto, estas políticas son esenciales para la construcción de un entorno construido moderno, sostenible y eficiente (Cabeza et al., 2020).

Finalmente, estas iniciativas están impulsando colectivamente un cambio hacia prácticas de construcción más sostenibles y eficientes, motivadas por avances tecnológicos, cambios regulatorios y una mayor conciencia social sobre la preservación del medio ambiente (Cabeza et al., 2020).

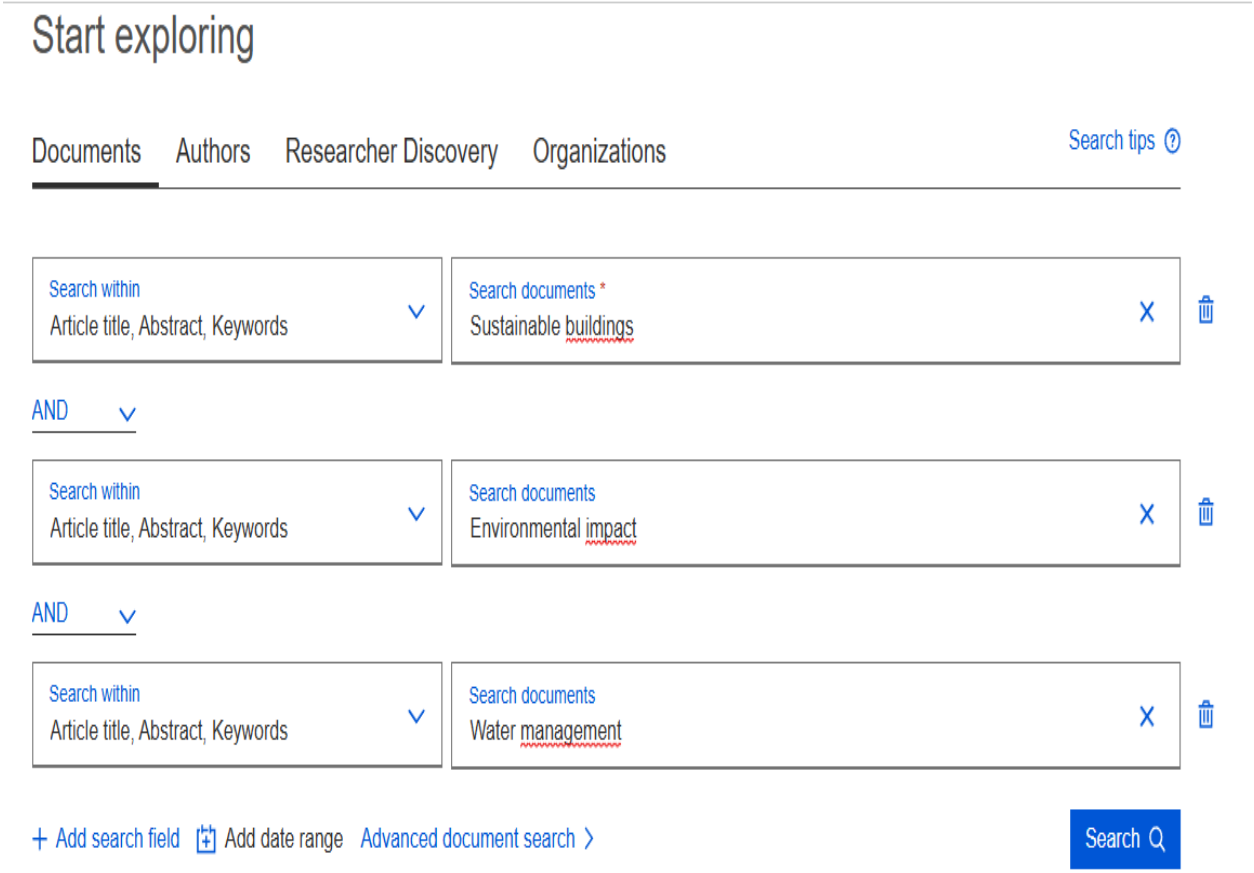
1.2 Análisis Bibliométrico

En el marco del análisis investigativo, se utilizó la base de datos Scopus, la cual es accesible a través de la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña. Para llevar a cabo la recolección de información, se ingresó la siguiente secuencia textual como

búsqueda: “Sustainable buildings AND of AND Environmental impact AND for AND Water management”. Como resultado, se obtuvieron un total de 940 documentos.

Figura 1

Búsqueda con palabra claves en scopus

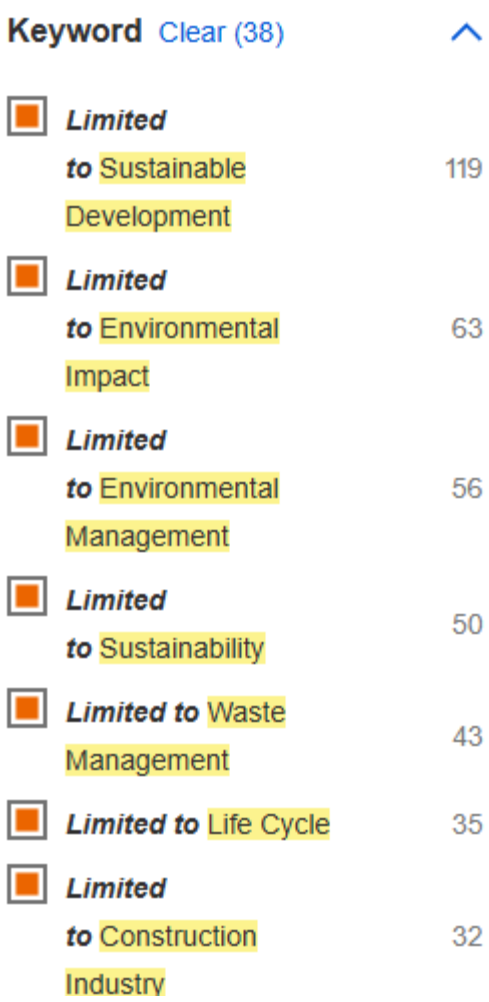


Fuente: Scopus, 2025.

Posteriormente, se filtró la búsqueda con el fin de incluir únicamente estudios en el área de ingeniería, publicados entre los años 2010 y 2025, y además se añadieron las palabras clave: “Sustainable buildings”, “Environmental impact” y “Water management”.

Figura 2

Keyword



Fuente: Scopus, 2025.

Después de la aplicación del filtro, los resultados de búsqueda fueron reducidos a 185, los cuales se utilizaron para el análisis dentro de bibliometrix. Tal como se observa en la tabla 1, se identificaron varios documentos, incluyendo artículos, artículos de conferencia, libros y capítulos de libros.

Tabla 1

Resultados de búsqueda

Tipo de documento	Resultados
Artículos	103
Artículos de conferencias	67
Capítulo del libro	11
Libro	4

Fuente: Autores del proyecto, 2025.

Análisis de la producción científica

La producción científica anual que se ha realizado a través del tiempo indica que, desde 2010 hasta 2025, fue baja, ya que solo se producían 10 investigaciones al año. Sin embargo, a partir de 2016, 2021, 2023 y 2024, se ha evidenciado un aumento significativo, siendo el año 2024 el que ha experimentado el mayor crecimiento, y este aumento se ha mantenido hasta la fecha, como se muestra a continuación:

Tabla 2

Producción científica por año

Año	Documentos
2010	10
2011	3
2012	8
2013	11
2014	6
2015	7
2016	16
2017	14
2018	5
2019	8
2020	2

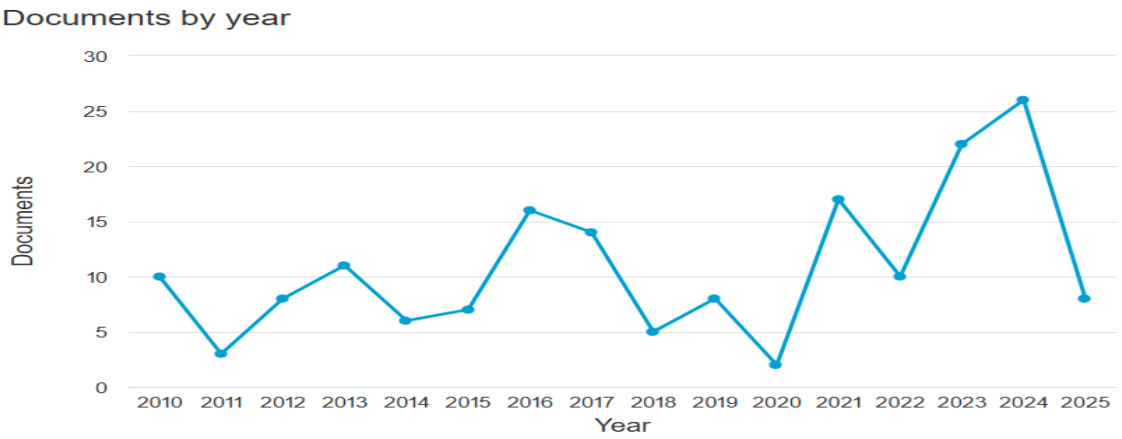
Tabla 2. Continuación

2021	17
2022	10
2023	22
2024	26
2025	8

Fuente: Autores del proyecto, 2025.

Figura 3

Producción científica anual



Fuente: Scopus, 2025.

Analizar la producción científica dentro del marco temporal de 2010 a 2025 revela una tendencia de crecimiento considerable en el número de trabajos de investigación publicados, con una actividad notable en algunos años específicos. En los primeros años del período examinado (2010-2015), la producción científica fue bastante modesta. Durante estos años, el número de investigaciones anuales varió, pero en la mayoría de los años se mantuvo por debajo de diez documentos. Este período está marcado por la inconsistencia en la producción científica, con algunas fluctuaciones notables, como la caída en el número de publicaciones en 2011, que bajó a apenas 3 documentos. El promedio durante estos años fue de 7.5 investigaciones al año. Sin embargo, se nota un cambio significativo en la producción científica después de 2016. Aunque

2016, 2017, 2018 y 2019 mostraron un crecimiento moderado, 2021, 2023 y 2024 fueron especialmente notables, con una producción que alcanzó niveles mucho más altos.

Según mi observación, los años 2016-2025 exhibieron un patrón de aumento intermitente, con un notable pico después de 2021. Más notablemente, hubo un aumento significativo en 2023 y 2024, alcanzando 22 y 26 documentos en estos respectivos años.

El interés sobre esta materia podría haber cambiado, tal vez por la colaboración a gran escala, un incremento en la financiación, o simplemente un cambio en el enfoque del proyecto. En 2024, el incremento en el marco supo superar el aumento de 2023, alcanzando un récord de 26 documentos, lo cual sugiere que la tendencia en el crecimiento supo aumentar considerablemente y que está dicho aumento podría continuar aumentando por varios años.

Como se mencionó anteriormente, las décadas de formación estuvieron marcadas por un estancamiento significativo en la producción científica considerando la media de 7.5 publicaciones anuales. No obstante, de 2016 en adelante ha existido un aumento sostenido, sobre todo en los años más recientes (2021-2024). El 2024 marca el aumento más notable, sugiriendo el posible progreso de la investigación en esta área.

Al observar los datos de la producción científica por año, se puede notar que algunos años tuvieron una menor producción, en particular 2020 y 2011. Sin embargo, la tendencia general es positiva. Esto puede indicar que hay una consolidación creciente de recursos, una

infraestructura mejorada para realizar investigaciones, o un cambio en el enfoque de los investigadores hacia temas más atractivos.

Tabla 3

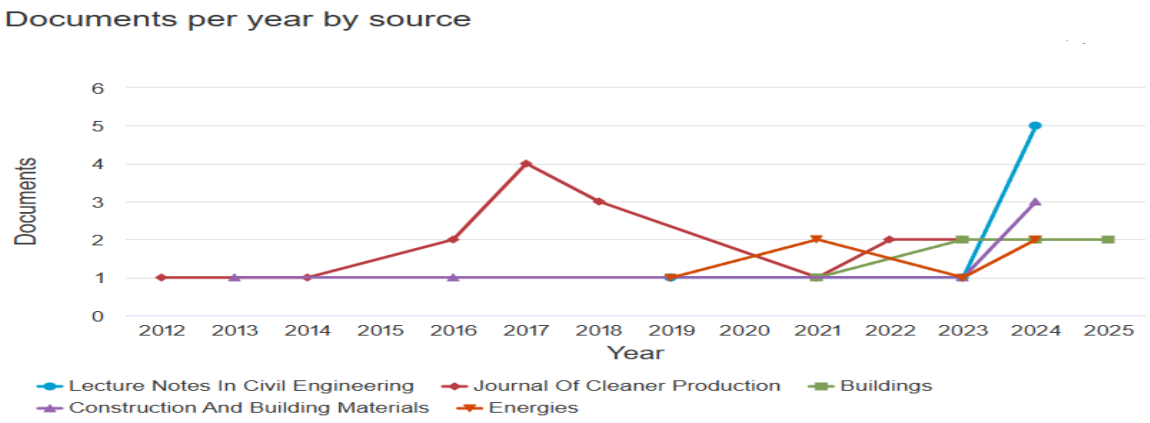
Fuentes más relevantes por año

Fuente	Documentos
Revista de Producción Más Limpia	16
Apuntes de clase sobre ingeniería civil	8
Edificios	7
Construcción y materiales de construcción	6
Energías	6

Fuente: Autores del proyecto, 2025.

figura 4

Fuentes más relevantes por año



Fuente: Scopus, 2025.

Como muestra la Figura 4 y la Tabla 3, se han destacado las fuentes primarias que han sido organizadas según la publicación anual de documentos. Para ello, se ha utilizado un análisis de estas fuentes para evaluar cómo han cambiado y evolucionado con el tiempo.

Revista de Producción Más Limpia. Esta revista se destaca como la más relevante en la producción científica en el lapso de tiempo analizado. En particular, esta fuente destaca por sus 16 documentos publicados, lo que evidencia una de las cifras más altas. En la Figura, la línea azul representa esta fuente y se observa que, a partir de 2019, ha habido un aumento notorio, alcanzando un pico máximo en 2024, donde supera a las otras fuentes en producción. Esto probablemente indica que el interés por la producción limpia está en aumento, lo cual se relaciona con la preocupación por la sostenibilidad y la reducción de impactos ambientales en diferentes industrias y sectores. Posiblemente, la producción en esta fuente se debe a la colaboración académica disponible y a un mayor enfoque en políticas de sostenibilidad ambiental, lo que ha impulsado la investigación responsable en este campo industrial.

Notas de clase sobre Ingeniería Civil. A pesar de que esta fuente tiene un comportamiento de publicación relativamente estable con 8 documentos según la Tabla, la Figura indica una producción moderada de esta fuente, con fluctuaciones en 2016 y 2020, seguidas de una disminución en 2021 y 2022. La línea naranja, que indica esta fuente, muestra que en los años iniciales de 2016 a 2018, hubo publicaciones moderadas. Sin embargo, a partir de 2021, esta fuente parece haber experimentado un declive dramático, quizás derivado de una variedad de razones como cambios en el enfoque de las áreas de investigación, disminución del interés en algunos temas, o incluso una falta de recursos disponibles para profundizar en los aspectos tradicionales de la ingeniería civil.

Edificios. Los documentos 1 a 7 comparten la característica común de que, al menos como fuente, esta ha mostrado una producción científica e identidad consistente a lo largo de los

años, aunque con un ligero aumento en los años más recientes del período analizado. A pesar de cierta prominencia en el período estudiado, la figura muestra que la producción científica en esta fuente ha sido más estable. La línea verde ha experimentado un tímido impulso hacia lo vertical, particularmente desde 2020, lo que podría sugerir un interés disminuido en temas como el sostenimiento de la construcción, la eficiencia energética en edificios y la tecnología de diseño y construcción de edificios. Es fácil ver cómo, en el contexto actual, estos fenómenos están siendo subsumidos bajo el discurso sobre ciudades y construcción sostenibles, lo que puede explicar la falta de un impacto sostenido en la producción científica.

La Construcción y sus Materiales. Esta fuente en construcción tiene un comportamiento estable durante los primeros años, pero la marcada tendencia de aumento durante los años 2023 y 2024 es de particular interés. En cuanto a la producción, la fuente reporta 6 documentos en la Tabla. La construcción de tan pocos documentos, junto con las declaraciones previas, indica que la investigación sobre materiales de construcción sostenibles ha adquirido cierta relevancia en estos últimos años, posiblemente en respuesta a nuevas regulaciones en el sector de la construcción que intentan mejorar la eficiencia energética y disminuir la huella ambiental de los materiales empleados en la construcción. Este aumento acompaña la intensificación del enfoque hacia la innovación en la construcción, especialmente en la propuesta de nuevos materiales.

Energías. Al igual que otras fuentes citadas, la fuente “Energías,” representada por la línea roja en el gráfico, también exhibe un crecimiento moderado a lo largo de los años. Con seis documentos según la Tabla, los datos indican que, a pesar de haber habido una producción constante, el aumento no ha sido tan pronunciado como en otras fuentes como la Revista de

Producción Más Limpia. Sin embargo, ha habido constancia de producción en esta región durante todo el período, con algunos aumentos tardíos, lo que indica un interés sostenido en energías renovables y eficiencia energética, áreas que siguen siendo vitales en el contexto del cambio global en los paradigmas energéticos hacia la investigación reactiva en transición y sostenibilidad.

En general, el análisis de las fuentes más relevantes para cada año revela que la investigación sobre sostenibilidad y tecnologías limpias está ganando prominencia. Las fuentes que exhiben los aumentos más pronunciados, como el Journal of Cleaner Production, sugieren que los esfuerzos centrados en minimizar el impacto ambiental y la innovación en los procesos industriales están impulsando un crecimiento significativo en la producción científica.

Tabla 4

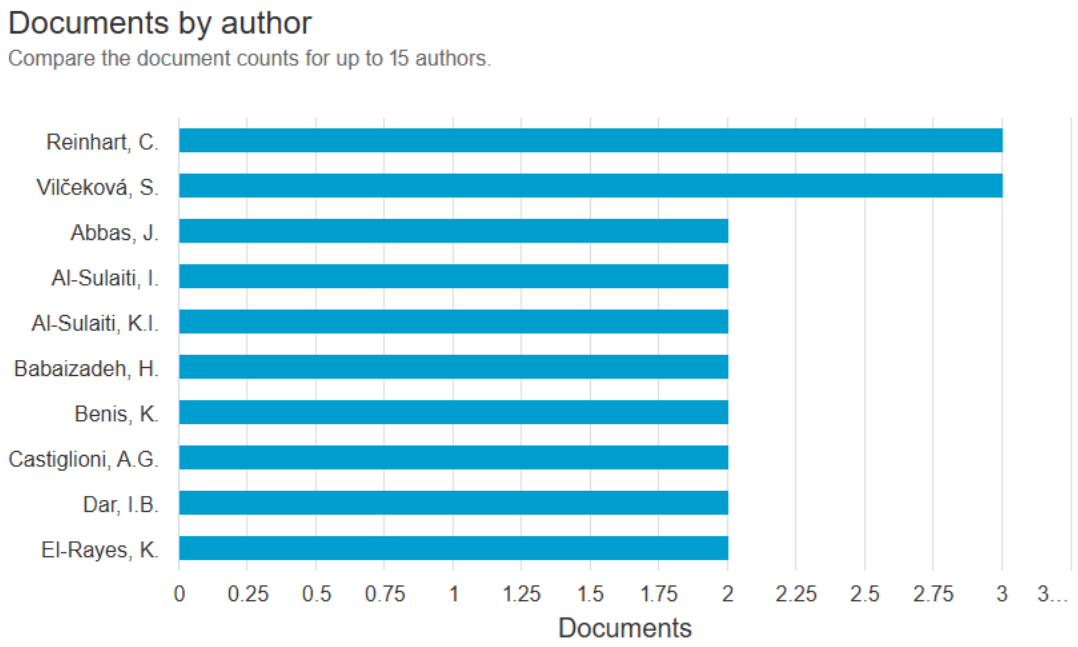
Documentos por autor

Autor	Documentos
Reinhart, C.	3
Vilčeková, S.	3
Abbas, J.	2
Al-Sulaiti, I.	2
Al-Sulaiti, KI	2
Babaizadeh, H.	2
Benis, K.	2
Castiglioni, AG	2
Dar, IB	2
El-Rayes, K.	2

Fuente: Autores del proyecto, 2025.

Figura 5

Documentos por autor



Fuente: Scopus, 2025.

Según la Tabla, los autores más relevantes en términos de producción científica en la base de datos bajo análisis están listados junto con el número de documentos publicados por cada uno de ellos. La publicación más prolífica corresponde a Reinhart, C. y Vilčeková, S., quienes cada uno cuenta con 3 documentos. Aparentemente ambos han realizado una importante contribución en el área de investigación en cuestión, siendo los principales líderes en el marco de productividad científica.

De otro lado, otros varios autores, entre ellos Abbas, J., Al-Sulaiti, I., Al-Sulaiti, K.I., Babaizadeh, H., Benis, K., Castiglioni, A.G., Dar, I.B., y El-Rayes, K., han publicado 2 documentos cada uno. Esto sugiere que estos autores han logrado una contribución moderada al

esfuerzo científico en el área de estudio, sosteniendo relativamente más baja producción que los dos autores líderes.

Como se muestra en la Tabla, tanto Reinhart, C. como Vilčeková, S. están claramente en la cima de la lista, con barras que alcanzan un valor de 3 documentos cada uno. Esto apoya la noción de que estos autores son los más dominantes o productivos en esta área de investigación.

En contraste, los otros autores (Abbas, Al-Sulaiti, Babaizadeh, Benis, Castiglioni, Dar y El-Rayes) están representados por barras de 2 documentos cada uno. Esto implica que la contribución hecha por estos autores ha sido significativa, pero su impacto no es tan prominente como el de los dos anteriores.

Por último, el gráfico es muy útil para observar las diferencias en la producción científica entre los autores. Además, resalta el hecho de que hay un grupo más grande de investigadores que han publicado un número modesto de documentos, lo que sugiere una mayor colaboración dentro del campo de estudio.

Tabla 5

Afiliaciones más importantes

Autor	Documentos
University College de Londres	4
La Universidad de Manchester	3
Universidad de Northumbria	3
Instituto Superior Técnico	3
Politécnico de Turín	3
Instituto Tecnológico de Massachusetts	3
Politécnico de Milán	3

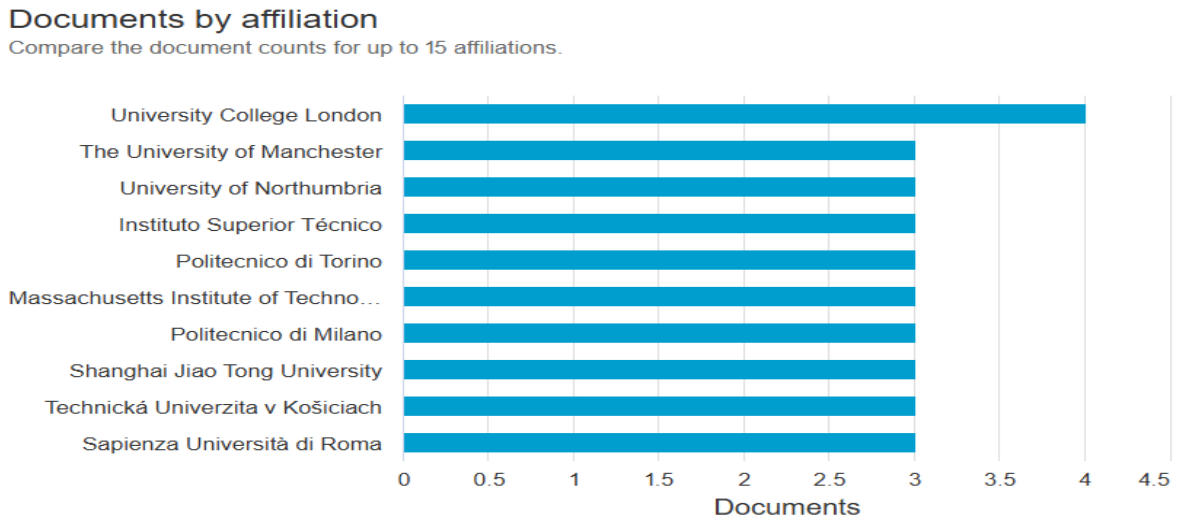
Tabla 5. Continuación

Universidad Jiao Tong de Shanghái	3
Universidad Technická contra Košiciach	3
La Sapienza Università di Roma	3

Fuente: Autores del proyecto, 2025.

Figura 6

Afiliaciones más importantes



Fuente: Scopus, 2025.

A partir del análisis visual del gráfico, se puede notar que la producción de documentos por afiliación es bastante igualitaria, con la University College London destacándose ligeramente con 4 documentos. Como se puede ver en el gráfico, las otras instituciones tienen 3 documentos cada una, lo que indica que hay una participación equitativa entre las principales instituciones en la producción científica.

En el caso de esta institución, este documento representa su liderazgo al ser el primero en constar bajo su nombre. No cabe duda de que este pequeño margen sobre las demás puede

reflejar unos mayores aumentos en la producción de investigación o una mejor infraestructura de soporte a la investigación.

La creación de estas instituciones en diferentes países y continentes, como el Reino Unido, Italia, EE. UU. y China, hace pensar que se están realizando trabajos inter y multidisciplinares. De hecho, la presencia de la University College de Londres y el Instituto Tecnológico de Massachusetts como referencia permite aseverar que la investigación puede ser multidisciplinaria y multinacional.

En cuanto al equilibrio, identificada la University College de Londres como la única con desbalance, se evidencian el resto de las instituciones con producción equitativa, 3 documentos cada una. Es posible que estos centros de investigación establezcan colaboraciones de diferentes tipos para equilibrar la producción de científicos convertidos en obras científicas.

Las instituciones contenidas en la lista abarcan una gran variedad de campos, como la ingeniería y la ciencia aplicada. La equidad en la producción científica se ve reflejada también en el intercambio de conocimiento y la cooperación académica de distintas disciplinas involucradas.

Considerando el número relativamente bajo de documentos en este análisis, se puede anticipar que, con el tiempo, el involucramiento de otras instituciones o el aumento en la financiación de recursos en ciertas áreas claves de investigación incrementará de manera notable la producción científica, especialmente entre las instituciones que, de manera constante, ya están contribuyendo.

Tabla 6

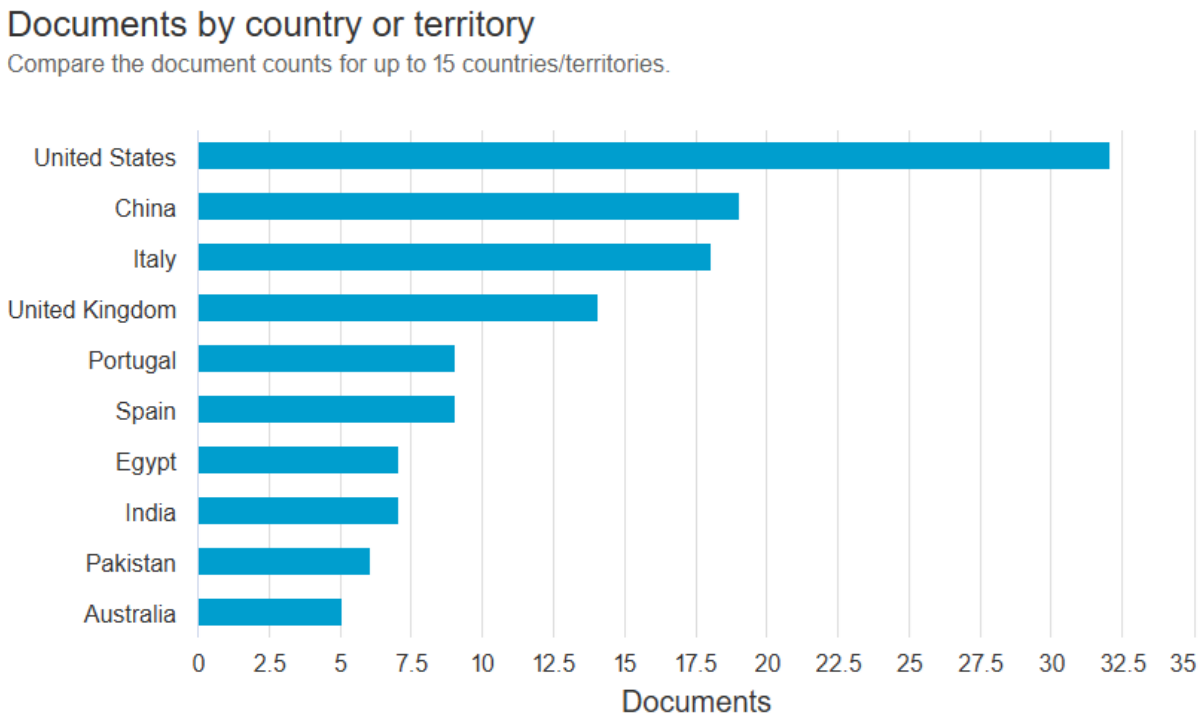
Documentos por país o territorio

País/territorio	Documentos
Estados Unidos	32
China	19
Italia	18
Reino Unido	14
Portugal	9
España	9
Egipto	7
India	7
Pakistán	6
Australia	5

Fuente: Autores del proyecto, 2025.

Figura 7

Documentos por país o territorio



Fuente Scopus, 2025.

La producción científica en un área de investigación particular está asociada no solo al interés que determinados países tengan hacia cierta temática, sino también a su capacidad de financiar ciencia y tecnología, así como al nivel de colaboración internacional existente. El análisis que se presenta, a la luz de los datos que recoge la Tabla y la Figura, permite entender claramente a qué nivel los distintos países aportan a la producción científica en esta área. Los datos compilados incluyen a los países con más publicaciones, desde los más influyentes en el mundo hasta aquellos con escasa participación, lo que hace posible identificar estanques de investigación y las áreas de mayor concentración de esfuerzo intelectual.

Durante el periodo analizado, Estados Unidos se posicionó como el gran líder en producción científica en el mundo al tener en su haber 32 documentos científicos. Este dominio se obtiene gracias al liderazgo que poseen en el ámbito académico y científico, lo cual se ve sostenido por una poderosa infraestructura de investigación, amplios recursos financieros y una gran cantidad de universidades e institutos que continuamente se suman a la investigación internacional. Adicionalmente, su ventaja en la producción de documentos podría estar relacionada con la tecnología y el volumen de proyectos multidisciplinarios desarrollados a nivel nacional por distintas agencias federales y privadas.

Por otro lado, China, con 19 documentos, es el segundo país con la mayor cantidad de publicaciones en este campo. La producción científica china es testigo del liderazgo global de China en las últimas décadas. Xia y colegas (2020) han citado en 2016 que era el primer año para el cual China “presentó” de forma transparente su planificación y presupuesto en ciencia y tecnología. Casi de forma simultánea, comenzó un nuevo ciclo de crecimiento sostenido en la

economía de China. Durante este crecimiento, los gastos en ciencia y tecnología también se incrementaron, por lo tanto, permitiendo una mayor colaboración internacional y mejorando el estándar en la comunidad científica. La producción científica frenética se debe al cierre de la brecha de competencia, con el uso intensivo del capital en industrias de alta tecnología y la innovación, más notoriamente con Estados Unidos.

Con los 18 documentos de Italia, el país destaca claramente en la lista, demostrando una participación notable en la considerable parte del corpus de investigación académica multidisciplinaria de Italia. El volumen de Italia, aunque inferior al de EE. UU. y China, sigue siendo significativo debido a la participación continua de Italia en estudios multidisciplinarios, y el fuerte enfoque en la sostenibilidad y los temas energéticos subraya la resiliencia de la infraestructura académica italiana. Aunque no compite directamente con los dos países líderes por volumen, Italia ha logrado mantener una investigación científicamente productiva, aunque relativa al contexto europeo, posicionando el ranking internacional de Italia.

En lo que respecta al Reino Unido, Portugal y España, con 9 documentos cada uno, el patrón sugiere que hay un trabajo académico autoconstante incluso cuando se considera en relación con países más grandes y ricos en recursos. Estos países están realizando un esfuerzo considerable hacia la investigación colaborativa, particularmente dentro del marco de la Unión Europea, donde la colaboración transfronteriza mejora la generación de conocimiento. Sin embargo, la producción editorial de estos países es más moderada en relación con potencias como Estados Unidos y China, lo que puede indicar mayores limitaciones de financiamiento o un

enfoque de investigación más especializado, sugiriendo una investigación centrada en disciplinas.

Egipto e India, cada uno con 7 documentos, tienen una participación moderada en la producción científica, siendo esta menor que la de los países europeos o americanos. Esta tendencia puede sugerir una fase emergente de avance en el desarrollo de la investigación científica, apoyada por políticas nacionales destinadas a mejorar la educación superior y fomentar asociaciones internacionales. No obstante, su contribución sigue rezagada en comparación con las naciones más industrializadas.

Finalmente, Australia y Pakistán, con 6 y 5 documentos respectivamente, son los menos productivos en producción científica. La productividad de Australia en esta área puede estar limitada por un paradigma de investigación más selectivo, a pesar de ser una nación con una infraestructura educativa y académica sólida. Mientras tanto, Pakistán, al igual que otros países en desarrollo, sufre de límites estructurales para expandir la producción científica.

A partir del análisis sobre la distribución geográfica de los documentos científicos, parece haber una disparidad notable en la producción de documentos entre países científicamente ricos y economías emergentes. En esta perspectiva, Estados Unidos y China dominan la producción científica, lo cual es un indicador incuestionable del potencial de innovación y también de la colaboración académica internacional en esas regiones. La inversión sostenida en investigación y desarrollo, junto con sistemas educativos sofisticados, permite a estas naciones mantener el liderazgo en investigación a nivel global, sin igual cuantitativamente.

En comparación, Italia, el Reino Unido, España, Portugal y Australia han logrado mantener una relevancia internacional; sin embargo, su producción científica es modesta en relación con las potencias industriales. Esto podría sugerir una distribución más equitativa de los recursos disponibles para la investigación, o un enfoque más centrado en campos especializados particulares.

Por último, países como Egipto, India, Pakistán y Australia están mostrando un crecimiento moderado en la producción científica, lo que puede indicar un reciente cambio estratégico en sus políticas de educación y ciencia destinadas a fomentar el posicionamiento global. No obstante, estos países aún deberán realizar un progreso considerable en su infraestructura de investigación, redes de colaboración internacional y mantener una inversión a largo plazo en la formación de capital humano para mejorar significativamente su producción científica.

Dicho esto, es esencial que los países en desarrollo aumenten y continúen mejorando su capacidad académica e institucional para poder competir y participar activamente en el escenario del conocimiento global, mientras que naciones líderes como Estados Unidos y China abarcan el ámbito de la investigación científica.

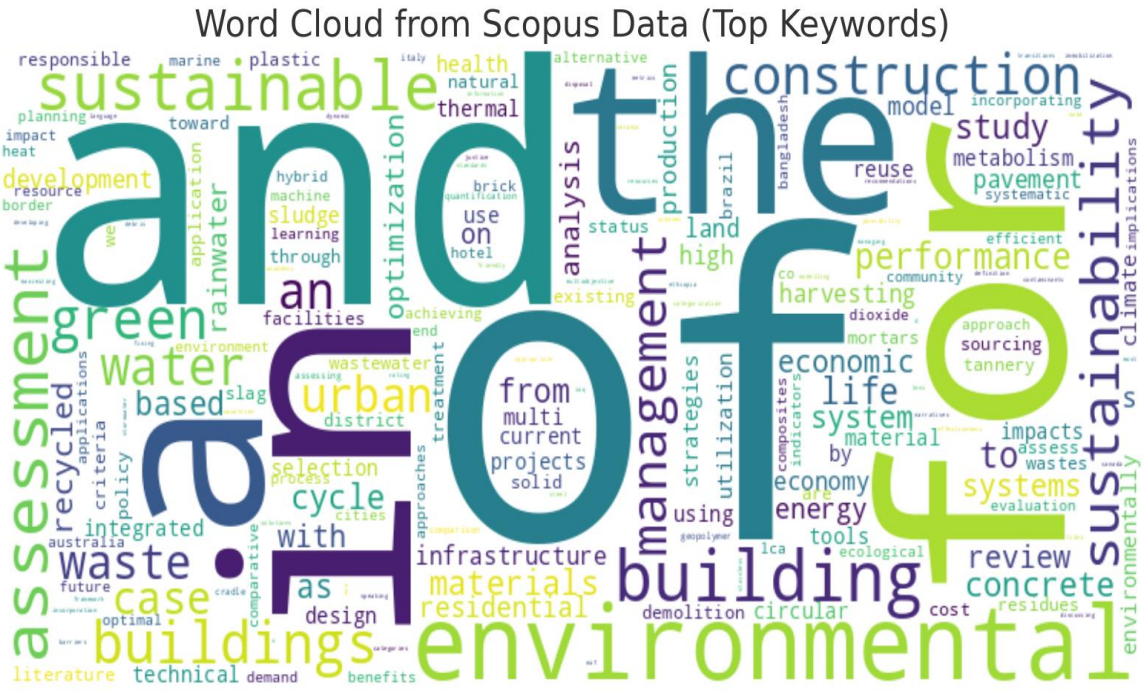
1.3 Discusión de conceptos clave

En esta sección se discuten los conceptos importantes en torno a la sostenibilidad en la construcción, principalmente aquellos que surgen de la revisión de artículos de investigación, así

como los análisis derivados de bases de datos como Scopus. Primero, sostenibilidad, impacto ambiental, gestión de recursos hídricos y eficiencia energética son términos vitales en el discurso de la construcción moderna porque son esenciales para el diseño, construcción y operación de edificios más verdes y energéticamente eficientes. De esta manera, este estudio busca desvelar las relaciones existentes entre los conceptos al analizar su cobertura en la literatura y cómo su integración impulsa infraestructuras más sostenibles a través del análisis de palabras clave extraídas de los artículos. Esta discusión también intenta desglosar el discurso más relevante en el contexto, abordando la brecha actual en el corpus de investigación, que examina cómo esos conceptos están cambiando para dar forma al futuro de la construcción sostenible.

Figura 8

Nube de palabras



Fuente: WordClouds, 2025.

El estudio sobre edificios sostenibles y convencionales: un análisis comparativo sobre el uso de materiales y la gestión de recursos hídricos, particularmente en lo que respecta al impacto ambiental de los edificios sostenibles y la gestión del agua, ha estado recibiendo mucha atención recientemente.

En este contexto, Scopus tiene un enfoque muy claro en estos temas, lo cual se evidencia con los términos de interés que se han extraído de los artículos de investigación. A partir de la revisión de estos términos, es posible detectar que los estudios se agrupan en diferentes frentes, pero con una evidente interrelación. Entre las palabras más citadas destacan: “sostenible”, “edificios”, “ambiental”, “gestión”, “agua”, “evaluación”, “sostenibilidad”, “verde”, “desempeño”, etc., las cuales se relacionan estrechamente con la sostenibilidad en la construcción, reduciendo los impactos ambientales y optimizando recursos como agua y energía.

La frase "sustainable" (sostenible) destaca por ser una de las más mencionadas en el texto, lo que pone de manifiesto que existe un interés a nivel internacional por desarrollar soluciones que no solo mitigan el impacto negativo que la construcción realiza sobre el medio ambiente, sino que también optimizan el recurso a lo largo del ciclo de vida de los edificios sostenibles. Por otro lado, “Buildings”, otra frase clave, indica que el objetivo principal de la investigación se centra en el diseño, construcción y operación de los edificios para que sean más ecológicos, sostenibles y eficientes en el consumo de recursos, de modo que se reduzcan los daños al medio ambiente.

La repetición de los términos “water” y “management” evidencia la preocupación por la eficiencia en la gestión de los recursos hídricos durante el proceso constructivo. Con la expansión de las áreas urbanas y el aumento de problemas Globales, como el cambio climático y la escasez de recursos hídricos, la investigación sobre la gestión y conservación de agua en edificios sostenibles se ha vuelto un elemento clave.

Esto implica no solo la instalación de sistemas de reciclaje de agua y la recolección de lluvia, sino también la obligación de desarrollar métodos que mejoren la calidad del agua utilizada en los procesos de construcción y en la operación de los edificios.

Por su parte, “evaluación” es una palabra clave que sugiere que casi todos los estudios están enfocados en medir el impacto ambiental y la eficiencia energética de un edificio (evaluación). Esto abarca el cálculo de huellas de carbono, el uso de recursos de construcción sostenibles y la incorporación de tecnología para la minimización de desperdicios. La sostenibilidad exige que las prácticas evaluadas se mantengan útiles a lo largo del tiempo y sigan brindando impactos ambientales positivos durante su vida útil, lo que conlleva una evaluación continua.

Además, los términos “verde”, “rendimiento” y “ciclo de vida” llaman la atención sobre la necesidad de evaluar el impacto de los edificios sostenibles a lo largo de su ciclo de vida, que incluye la construcción y la deconstrucción.

Este enfoque integral de la gestión del ciclo de vida subraya la necesidad de una acción que no solo sea inmediatamente efectiva, sino también beneficiosa a largo plazo a través de la eficiencia energética y la reducción de residuos.

Por otro lado, la utilización de palabras como “urban” (“ciudad”) indica que otro pilar importante en la investigación está relacionado directamente con la inclusión de metodologías de sostenibilidad en un ambiente urbano. La inclusión de conceptos como “urban heat island” e “isla de calor urbana” así como “Green roof” o “techos verdes” indican que la investigación también se ocupa de cómo las ciudades pueden llevar a la práctica obras sostenibles para impedir el cambio climático, mejorar la calidad del aire, combatir las islas de calor y mitigar los efectos negativos a través de la infraestructura verde.

El análisis de nubes de palabras derivado de la base de datos Scopus demuestra que la fragmentación en la investigación sobre la sostenibilidad de edificios, la gestión del agua y la evaluación ambiental está interrelacionada. La nube de palabras subraya 'gestión del agua' y 'sostenibilidad' como componentes centrales de la construcción ecológica, enfatizando la optimización de recursos, la evaluación del impacto ambiental y la integración de tecnologías avanzadas para mejorar el rendimiento de los edificios.

La “sostenibilidad” y “gestión” parciales del edificio cuya “evaluación”, “sostenibilidad” y “gestión” se destacan obligando a interpretar que el diseño, construcción, operación y eventual renovación o demolición del edificio son en simultáneo multifacéticos. Este análisis también indica que existe un incremento en el uso de multiculturalismo por parte de la arquitectura,

ingeniería, tecnología ambiental y planificación urbana para desarrollar problemas holísticos de sostenibilidad en la construcción.

De acuerdo con lo que he presentado, el énfasis que se observa en la nube de palabras para ser clara en el diseño y la sostenibilidad, el desarrollo de tecnología veloz en construcción da a entender que se viene un boom donde el enfoque del sector es ser más eficiente y amigable con el medio ambiente. En retrospectiva estos cambios pueden contribuir radicalmente ante la creación de políticas y atajos internacionales de construcción sostenible que efectivamente transformen diseños y el manejo de las ciudades y edificios del mañana en lo que se necesita para apalancar disminuir el daño ambiental y asegurar una vida óptima a las futuras generaciones.

Figura 9

Frecuencia de las palabras claves



Fuente: Treemap, 2025.

El treemap muestra la comparación entre la distribución de las palabras clave más frecuentes de la base de datos Scopus y aquellas extraídas de los títulos de los artículos. A este

respecto, los términos que figuran “de”, “y”, “en” y “para” son las palabras que más se utilizan en los artículos. No obstante, esos términos son stopwords, en otras palabras, palabras que no contribuyen al valor análisis en construcción sostenibilidad. Por el contrario, palabras clave muy relevantes como “ambiental”, “edificación”, “evaluación”, “sostenible” y “sostenibilidad”, “verde”, “agua” son de gran importancia para el análisis de la sostenibilidad en construcción, ya que son los ejes centrales de la investigación. En especial, tales como “ambiental” y “evaluación” ponen de manifiesto que una porción importante de los estudios se focaliza en evaluar el impacto ambiental y la sostenibilidad de los edificios durante su ciclo de vida, en su operación y mejora. Asimismo, “edificación”, “edificios” y “construcción” son términos que propician el centro de la investigación cuya finalidad es sostenibilidad en la construcción de edificios, es decir, el aumento de eficiencia en recursos utilizados y el profundizaje del impacto ambiental.

Además, palabras como “agua” y “gestión” indican que la investigación también se centra en gran medida en la gestión de recursos hídricos, lo cual es crítico dentro de un contexto global de escasez de agua. En este sentido, el gráfico delimita claramente la concentración de términos asociados con la sostenibilidad y la gestión de recursos, particularmente agua. Términos como “sostenibilidad,” “sustainable” y “verde” demuestran la atención creciente que se está poniendo en la industria de la construcción hacia el desarrollo de edificios más amigables con el medio ambiente. Mientras tanto, “agua” y “gestión” son esenciales para entender qué están haciendo los investigadores para optimizar las operaciones relacionadas con el agua. Esto es particularmente relevante en un contexto donde la gestión del agua durante la construcción debe ser sostenible para mitigar la huella ambiental de los edificios. Por lo tanto, la concentración de

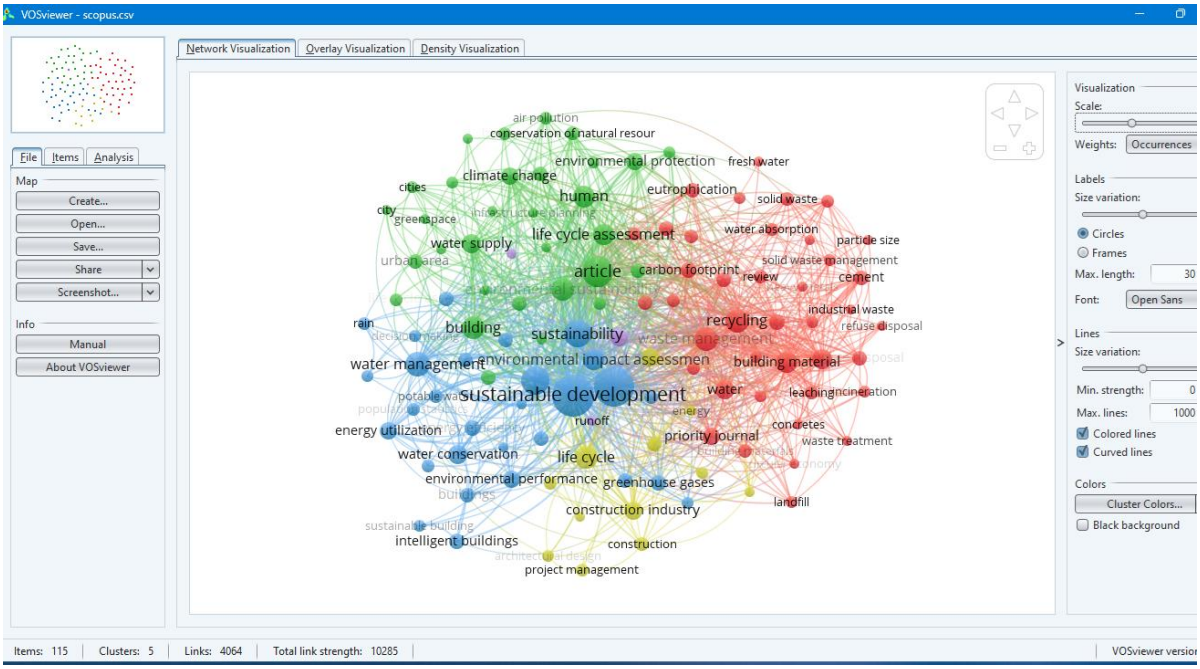
palabras clave relacionadas con la gestión de recursos hídricos, la sostenibilidad y la evaluación del impacto ambiental sugiere un enfoque de integración por parte de los investigadores para resolver los desafíos de construcción.

El treemap enfatiza la construcción y el manejo de recursos hídricos como dos áreas en particular que enfrentan los problemas ambientales del siglo XXI. Palabras como sostenibilidad, construcción, evaluación y agua hacen evidente que, por lo menos, algunos investigadores están tratando los problemas derivados de la construcción con impacto ambiental. La gran prevalencia de los términos “verde” y “sustentabilidad” también demuestra el avance hacia la construcción sustentablemente eficiente que no solo enfrenta el cambio climático, sino que usa los recursos de forma más eficiente. El estudio de estas palabras clave sugiere también que el manejo eficiente del agua es uno de los tópicos más importantes dentro de la construcción sustentable, lo que evidencia la creciente preocupación por la escasez de agua y su utilización en la infraestructura urbana.

Este análisis destaca la necesidad crítica de adoptar enfoques más innovadores e interdisciplinarios en el diseño y construcción sostenible de edificios. Como mencioné, el enfoque en proyectos emblemáticos demuestra una integración creciente de la ingeniería, la gestión de recursos y la evaluación del impacto ambiental en la construcción de edificios que son “verdes” en términos ecológicos. Así, con una mayor colaboración internacional y políticas más rigurosas orientadas a la sostenibilidad, se espera que estas prácticas se amplíen en alcance y contribuyan aún más al desarrollo de ciudades más sostenibles y resilientes.

Figura 10

Iteración entre palabras claves



Fuente: VOSviewer, 2025.

Scopus bajo los filtros “edificios sostenibles”, “impacto ambiental” y “gestión del agua” desde el 2010 hasta el 2025, resaltan la creciente relación entre actividad construcción, sostenibilidad, eficiencia energética, y gestión de recursos hídricos. Con base en la información estudiada, persiste inquietud sobre la futura construcción y diseño de los edificios sostenibles, en especial, el uso y confort con respecto a la ambiental, el agua, la energía y otros recursos. Dicha preocupación forma parte de la respuesta interdisciplinaria frente al problema del cambio climático, la sostenibilidad y la infraestructura mundial.

VOSviewer revela una densa red de relaciones asociativas marcadas por las palabras clave que indican participación en trabajo académico. Los clústeres de palabras marcados con

diferentes colores representan áreas interrelacionadas de desarrollo sostenible multidisciplinario, eficiencia energética, gestión del ciclo de vida de edificios y reciclaje. Palabras clave como “desarrollo de políticas sostenibles”, “energía”, “agua” y “ciclo de vida” están altamente interconectadas dentro de la red, mostrando la presencia de un enfoque holístico que abarca estos conceptos en la investigación. Además, la estrecha asociación de “gestión del agua” con “sostenibilidad” enfatiza la necesidad de diseñar sistemas y métodos que alineen la gestión de recursos con consideraciones ambientales.

El análisis de la producción y la representación gráfica sugiere que el sector de la sostenibilidad en la construcción está avanzando considerablemente en las áreas de gestión de recursos y mitigación del impacto ambiental. Los términos más notables en la nube de palabras indican un aumento en la colaboración internacional y el trabajo interdisciplinario, lo que sugiere que la investigación está satisfaciendo la necesidad internacional de manera efectiva. Si se proporcionaran más recursos financieros y colaboración internacional, es probable que esta sea una tendencia sostenida, mejorando positivamente la sostenibilidad del sector de la construcción a nivel mundial. En general, este análisis captura los principales hallazgos y sostiene que el sector de la construcción sostenible se está moviendo hacia la síntesis de información y la acumulación-convergencia de la integración de conocimientos multidisciplinarios.

Capítulo 2. Comparación entre Edificaciones Certificadas y No Certificadas

El crecimiento de la sostenibilidad como un estigma constructivo consiste en encontrar formas sostenibles de realizar edificaciones removibles para reducir su impacto negativo en el entorno. A medida que las ciudades crecen, la construcción tiene el reto de fomentar una ecología orientada hacia el ahorro en el consumo de recursos naturales y la generación de residuos. Esto conduce a la implementación de sistemas de edificios de gran altura que están dados a la vertical y cuya forma se asemeja a un prisma circular. Por esta razón, el viejo paradigma se comienza a fraccionar para dar paso al nuevo, lo que otorga prioridad al medio ambiente:

La economía circular. A tal fin, manuales y sistemas de evaluación, famosos a nivel mundial, como LEED, BREEAM, DGNB, entre otros, se han reportado como herramientas útiles para facilitar a los editores internacionales de documentos las normas necesarias para la ejecución de proyectos en edificios de gran altura. Mientras tanto, las edificaciones que no poseen estas certificaciones continúan utilizando formas tradicionales, las cuales, en la mayoría de los casos, tienen un impacto más negativo tanto en el medio ambiente como en la salud de quienes residen en ellas (Wang et al., 2021).

Por otro lado, LEED (siglas en inglés para Diseño Sostenible), EDGE (Excelencia en Diseño para Mayores Eficiencias) y BREEAM (Método de Evaluación Ambiental del Edificio de la Investigación del Establecimiento), entre otras, son herramientas utilizadas para certificar internacionalmente edificaciones bajo criterios de sostenibilidad. Estos sistemas definen

parámetros como la eficiencia en el consumo de energía, el control de calidad del aire interior y la utilización de materiales ecológicos. Por el contrario, las construcciones que no poseen dicha certificación no están restringidas a seguir ciertos estándares y, si bien pueden optar por algunas estrategias de sostenibilidad, la mayoría de sus obras terminan teniendo un impacto ambiental negativo debido a la falta de regulación. En Colombia, a pesar de la cultura general en el país, poco a poco se han ido adoptando estos esquemas, gracias a subsidios y reformas tributarias que promueven la construcción de obras más sostenibles y resistentes (Pomponi & Moncaster, 2017).

En Colombia, la construcción suele considerarse como el gasto en activos tangibles como materiales y finanzas, prestando poca atención al medio ambiente. Sin embargo, certificaciones como LEED, entre otras, ayudan a aliviar esta situación. Este capítulo lleva a cabo un análisis comparativo de edificios certificados versus no certificados considerando sus materiales, gestión del agua y marcos legales tanto en Colombia como en el extranjero.

Los recursos y materiales de construcción eficientes sustentables cobran especial relevancia en la arquitectura contemporánea, pues a diferencia de los edificios convencionales, cuya producción implica un uso energético desmesurado que contamina en diversos niveles, los edificios considerados “verdes” deben utilizar recursos que son renovables y de bajo impacto ambiental.

Además, la gestión del agua constituye uno de los aspectos más relevantes para la sostenibilidad de un edificio, y las construcciones certificadas con sistemas de recolección, tratamiento y reutilización de agua, han logrado controlar el recurso con mayor eficiencia. Por lo

tanto, resulta crítico en primer lugar analizar los contextos normativos de cada región y luego formular políticas públicas integrales orientadas a la construcción de edificios sustentables, energéticamente eficientes y ambientalmente responsables (Sharma et al., 2020).

2.1 Materiales Sostenibles

En las construcciones certificadas, a diferencia de las convencionales, la diferencia más notable radica en los materiales de construcción. En las construcciones sostenibles, se da prioridad al uso de materiales recuperados y aquellos que tienen un menor impacto ambiental. Asimismo, se enfocan en aquellos materiales con eficiencia térmica y un menor impacto en el medio ambiente. Algunos ejemplos de estos materiales son el hormigón reciclado, el bambú y la madera FSC. Estos materiales, además de ayudar a disminuir la explotación de los recursos naturales, también mejoran la eficiencia energética de las edificaciones (Cabeza et al., 2020).

Por otro lado, las construcciones no certificadas aún se apoyan en gran medida en materiales convencionales como el cemento Portland y el acero, cuya fabricación produce niveles elevados de emisiones de CO2 y requiere una gran cantidad de energía. La falta de normativas estrictas en diversos países ha obstaculizado la implementación de materiales más amigables para el medio ambiente en la industria de la construcción. Sin embargo, en los años recientes, se han puesto en marcha varias iniciativas estatales para fomentar el uso de materiales sustentables. Esto, en consecuencia, podría agilizar el cambio hacia técnicas de construcción más respetuosas con el entorno natural (Sharma et al., 2020).

Además de los materiales utilizados en la construcción de edificaciones certificadas y convencionales, hay un aspecto clave que las diferencia: la innovación en tecnologías de construcción es fundamental para las edificaciones sustentables. En este caso, el diseño arquitectónico considera la eficiencia energética mediante el uso de aislantes térmicos, ventilación natural y el aprovechamiento de energías renovables. En contraposición, muchos edificios tradicionales no los consideran, lo cual implica un consumo exagerado de energía para calefacción y luz.

El impacto de la selección de materiales para construcciones ecológicas va más allá del ámbito ecológico, teniendo un efecto económico y social también. La transición a la construcción con materiales ecológicos, aunque difícil, permite optimizar el desempeño del sector de la construcción e incrementar su impacto ambiental. También, hay que mejorar las leyes que ya existen e impulsar la búsqueda y el desarrollo de nuevos modelos de construcciones, materiales de construcción que tengan un impacto menor al medio ambiente.

Como tal, el concreto armado se ha posicionado como uno de los materiales más utilizados en la construcción debido a su inmensa resistencia estructural y durabilidad. Sin embargo, los procesos utilizados para su producción son inmensamente dañinos para el medio ambiente debido al principal componente del cemento, que libera una sorprendente cantidad de CO_2 durante su producción. En el contexto de construcciones sostenibles, se han desarrollado alternativas como el cemento reciclado o el cemento mezclado, añadiendo puzolanas de baja calidad que disminuyen el impacto ambiental al reutilizar materiales de desecho y reducir la cantidad total de cemento utilizado. La importancia de este estudio se deriva del hecho de que

hay poca investigación sobre la implementación de estas tecnologías con recursos renovables, centrándose en la infraestructura adaptable que presta más atención a las necesidades multifuncionales y multiclima en evolución de estas estructuras (Gursel, 2014).

La madera, al ser de origen renovable, es altamente sostenible siempre que su fuente sea certificada. Su potencial para almacenar carbono, acoplado a su ligereza y facilidad de manipulación, hacen de la madera un recurso altamente prometedor para mitigar el impacto ambiental en la construcción. La madera para la sostenida se cultiva en bosques de proveedores responsables y certificados, incluyendo el FSC (Forest Stewardship Council). Parte de la investigación procura establecer una comparativa entre la propuesta de este material en contraposición a otros materiales estructurales para evaluar su aportación en la construcción sostenible en comparación con la cimentación convencional en el concreto y el acero (Gustafsson, 2019).

El Aislamiento en la eficiencia energética de los edificios en su queda el uso de energía para calefacción o refrigeración. Los materiales sostenibles incluyen celulosa reciclada, la lana de oveja y los paneles de madera. Ofrecen más un equipo en menores niveles afecta el medio ambiental que los comunes, tales como poliestireno. Su relevancia se encuentra en la comparación de clases de un armado e isotóptico su impacto en cubrir energías limpias y la contaminación en los edificios nuevos construidos. (Papadopoulos 2005)

Los recubrimientos juegan un papel importante en la protección de los edificios de factores externos, así como en la mejora del confort térmico y acústico. En el caso de

construcciones sostenibles, se intenta utilizar recubrimientos naturales como tierra, piedra, madera tratada y pinturas no tóxicas. Su inclusión en este estudio es crucial para evaluar la sostenibilidad de estos factores en relación con los recubrimientos tradicionales; durabilidad, eficiencia energética y menor impacto ambiental (Aïtcin, 2016).

El vidrio, con su papel indispensable en la industria de la construcción, especialmente en lo que respecta a las fachadas y ventanas de los edificios, en un edificio sostenible se utiliza en forma de vidrio de baja emisividad y paneles dobles y triples con relleno de gas inerte, con el fin de reducir las pérdidas de energía y mejorar el confort térmico. El enfoque principal del estudio realizado sobre el material se debió al hecho de que el vidrio es notable para maximizar el uso de la luz natural y minimizar la iluminación artificial, contribuyendo así a la sostenibilidad y eficiencia de los edificios (Jelle, 2011).

El acero, debido a su resistencia y dureza, es un metal muy útil para la construcción; sin embargo, puede generar una gran cantidad de emisiones de CO2. En lo que respecta a los edificios sostenibles, se está intentando utilizar acero reciclado o acero con una baja huella de carbono, lo que ayuda a disminuir el impacto sin poner en peligro la calidad de la estructura. Así, en el caso del estudio de Johnston, se busca estrategias para reducir la huella de carbono del acero en comparación con materiales tradicionales (Johnson, 2020).

Los ladrillos, un material de construcción que tradicionalmente ha sido valorado por su durabilidad y propiedades de aislamiento térmico, en el contexto de la sostenibilidad han sido reemplazados por ladrillos ecológicos o de bajo impacto hechos de agregados reciclados y

desechos de otras industrias, y utilizando procesos de cocción más suaves que reducen las emisiones de contaminantes (García & Tenorio, 2018).

Las cubiertas de los edificios son vitales para la eficiencia en la gestión de energía y agua. Por ejemplo, los techos verdes mejoran la regulación térmica del edificio y mejoran la retención de aguas pluviales, reduciendo el riesgo de inundaciones urbanas. Por otro lado, los techos reflectantes disminuyen la absorción de calor, lo que reduce el consumo de energía en climas cálidos. Esta investigación analiza diferentes tipos de techos para medir su contribución hacia la sostenibilidad de los edificios (Berardi, 2016).

Los pisos en edificaciones sostenibles se diseñan para reducir el impacto ambiental utilizando materiales reciclados o de origen natural. Alternativas ecológicas como el bambú, el corcho y las baldosas recicladas ofrecen opciones frente a los pisos convencionales de cerámica o PVC. Incluir estos materiales en el estudio es importante para evaluar su durabilidad, impacto ambiental y su contribución al confort interior en comparación con los materiales tradicionales (Wilson, 2014).

Tabla 7

Comparación de Materiales Utilizados

Material	Edificaciones Certificadas	Edificaciones No Certificadas
Hormigón	Hormigón reciclado con menor huella de carbono	Cemento Portland convencional
Madera	Certificada por FSC o reciclada	Madera no certificada
Aislamiento	Paneles de fibra de celulosa, lana de roca	Espumas sintéticas
Revestimientos	Pinturas ecológicas, acabados con materiales naturales	Pinturas con solventes volátiles
Vidrio	Vidrio de baja emisividad y reciclado	Vidrio convencional

Tabla 7. Continuación

Acero	Acero reciclado o de bajo impacto ambiental	Acero de producción convencional
Ladrillos	Ladrillos ecológicos con menor impacto ambiental	Ladrillos de arcilla cocida
Cubiertas	Techos verdes y paneles solares	Techos de tejas de asbesto-cemento
Pisos	Materiales biodegradables como corcho o bambú	Baldosas de PVC o cerámica de alta energía

***Fuente*:** (Construcción propia, 2025), ajustada de: Cabeza & Sharma et al. (2020).

El análisis comparativo de los materiales utilizados en edificaciones certificadas y no certificadas muestra una clara tendencia hacia la elección de materiales que tienen un menor impacto ambiental en las construcciones sostenibles. En este sentido, en las edificaciones certificadas predominan los materiales reciclados o de bajo consumo energético, lo que ayuda a reducir las emisiones de carbono y aprovechar los recursos naturales renovables.

Por el contrario, en edificios no categorizados, el uso de materiales convencionales se asocia con un mayor consumo de energía, así como con una mayor generación de residuos y emisiones contaminantes. Además, la ausencia de incentivos amplios y regulaciones estrictas ha subrayado la adopción de materiales ecológicos, lo que obliga a la industria de la construcción a cambiar hacia la adopción de prácticas más amigables con el medio ambiente.

En cuanto a la sustentabilidad en la construcción, este es un punto que se centra en la elección de uno o múltiples elementos. Promover la utilización de materia prima de tipo renovable o reciclable no solo optimiza la eficiencia energética, sino que también provee el bienestar necesario mientras disminuye el impacto ambiental negativo.

2.2. Gestión Hídrica

La administración del recurso hídrico se considera, sin excepción, uno de los elementos críticos dentro de la comparación entre construcciones convencionales y edificaciones sostenibles. En las construcciones sostenibles, se aplican diversas estrategias tecnológicas para mejorar la gestión del agua, especialmente en su recolección, tratamiento y uso. Los sistemas más comunes incluyen la recolección de agua de lluvia, el tratamiento de aguas grises, así como la instalación de grifos de bajo flujo e inodoros de bajo consumo. Estas tecnologías, sin duda, son las que más han contribuido a la reducción del uso de agua potable, así como a la conservación de la limpieza y protección ambiental deteriorada por la explotación de recursos (Pomponi & Moncaster, 2017).

Por el contrario, en los edificios convencionales, la escasez de técnicas adecuadas para la gestión del agua sigue presentando un problema recurrente. En muchas construcciones, durante la planificación y el diseño no se considera la infraestructura para la recolección de agua de lluvia ni sistemas que permitan su reutilización, lo que acarrea un enorme desperdicio de recursos. Asimismo, algunas de sus normativas en torno diferentes políticas de agua en clasifican en algunas regiones retardan el avance hacia políticas de gestión del agua eficiente. A causa de la suma de todos estos aspectos, se han tenido que descuidar un requerimiento básico que, como resultado, ha propiciado el aumento en la demanda de agua potable, encareciendo su provisión sobre las fuentes naturales de agua. Ello, a su vez, afecta el balance ecológico de los ecosistemas hídricos.

La comparación de ambos enfoques enfatiza la atención desproporcionada que se da a las medidas de control destinadas a la gestión eficiente de los recursos hídricos en la industria de la construcción. La captura y reutilización de agua, así como la promoción de nuevas tecnologías innovadoras, son pasos indispensables hacia la sostenibilidad del recurso a largo plazo. Por lo tanto, hay una amplia oportunidad de acción a través de la regulación gubernamental y los incentivos económicos.

La recolección de agua de lluvia, como uno de los métodos de captación más útiles en el contexto de construcción sostenible, retrasa el uso del agua, que puede ser usada con posterioridad para el riego, aseo, e, incluso, tras tratamiento, consumida. De esta forma, ayuda a no depender de recursos de agua potable disponibles y ayuda también a aliviar la presión en abastecimiento urbano. Este estudio, en particular, analiza la captación de agua de lluvia en comparación con la ampliación de su uso en convencionales donde el agua se drenada y pierde utilidad (Campisano \& Modica, 2016).

La gestión de las aguas residuales es otro aspecto importante. Es esencial reciclar aguas residuales de los lavabos y duchas para la horticultura, el áspero de inodoros y otros usos no consumitivos. Su aplicación en estructuras hidráulicas sostenibles trae una reducción considerable en los gastos de agua potable y mejora la sanidad en el área. En esta investigación, este enfoque es muy importante para estudiar la gestión del agua de construcciones tanto convencionales como sostenibles, teniendo en cuenta los ahorros posibles y los efectos ecológicos positivos de la implementación (Domènech + Sauri, 2010).

Los electrodomésticos de bajo flujo inteligentes incluyen inodoros de doble descarga, aireadores de grifos y duchas de bajo flujo, todos los cuales reducen el consumo excesivo de agua sin sacrificar la comodidad del usuario. Tales medidas facilitan la preservación de los recursos hídricos, lo cual es vital para lograr una construcción sostenible, así como para mitigar el impacto ambiental de la construcción en general. El enfoque de esta investigación es el análisis del uso del agua en edificios certificados en comparación con los convencionales, lo que destaca la contribución de tales tecnologías hacia un uso sostenible del agua (Tsai et al., 2019).

El paisajismo sostenible busca optimizar los espacios verdes para conservar agua y promover la diversidad de especies. Esto puede lograrse mediante el uso de plantas nativas y/o aclimatadas a la región, la implementación de métodos de riego por goteo, así como la inclusión de materiales porosos. En el análisis de esta obra, esta estrategia es primordial para entender cómo un diseño paisajístico podría disminuir el uso de agua y aumentar la sostenibilidad en comparación con un edificio que opere con métodos estándar, donde el tradicional paisajismo requiere grandes cantidades de agua y productos agroquímicos (Beck et al., 2018).

Los sensores de consumo y los sistemas de detección de fugas permiten alcanzar un mayor nivel de optimización en el uso de sensores y automatización en edificaciones sostenibles. Robots que caminan, así como otros tipos de autómatas, también permiten integrar sensores y optimizar su funcionamiento en grifos y sistemas de riego. Esto es considerado un avance en relación con la maquinaria manual que interviene, ya que ofrece un método más eficaz para combatir el desperdicio de agua (Chung et al., 2018).

La permeabilidad del suelo es un atributo importante de un área al diseñar una estructura, ya que influye en el desarrollo sostenible en relación con la absorción de lluvia y la mitigación de inundaciones. Métodos como la incorporación de espacios verdes y el uso de pavimentos permeables ayudan a recargar los acuíferos y disminuir la escorrentía superficial. En este análisis, la permeabilidad del suelo se considera uno de los atributos principales para la comparación de estructuras sostenibles y convencionales, basándose en los impactos en el ciclo hidrológico urbano (Zhang et al., 2019).

Los sistemas de reutilización de agua permiten la optimización del uso de recursos hídricos a través de la recolección, tratamiento y redistribución de agua de lluvia y agua gris dentro de un edificio. El uso de filtros biológicamente activos, desinfección ultravioleta y membranas de ósmosis inversa permite actividades con agua no potable. La importancia de esta estrategia en el estudio es examinar las posibilidades de reutilización de agua en construcciones sostenibles y las consecuencias en la reducción del consumo de agua en comparación con edificios convencionales (Lautze et al., 2014).

Las regulaciones hídricas permiten evaluar cómo diferentes legislaciones pueden facilitar la adopción de prácticas sostenibles tanto en edificios certificados como convencionales. Los sistemas de tratamiento y recarga de agua para fines de construcción son una actividad integrada realizada bajo regulaciones estrictas, y la presencia de regulaciones muy estrictas fomenta la adopción de tecnologías y prácticas avanzadas relacionadas con la gestión del recurso hídrico dentro de los edificios. Además, los sistemas de evaluación "verde", como GBI o BREEAM para

la construcción, han desarrollado criterios para evaluar la gestión económica y ambiental de los recursos hídricos dentro de los edificios (Gleick, 2018).

Tabla 8

Comparación de Estrategias de Gestión Hídrica

Estrategia	Edificaciones Certificadas	Edificaciones No Certificadas
Captación de agua de lluvia	Implementada con sistemas de filtrado	Poco frecuente
Tratamiento de aguas grises	Reciclaje para riego y sanitarios	No implementado en la mayoría de los casos
Dispositivos de bajo consumo	Uso de grifos y sanitarios de bajo flujo	Grifos y sanitarios convencionales
Paisajismo sostenible	Uso de especies nativas con bajo consumo hídrico	Uso de césped y plantas de alto consumo de agua
Sensores y automatización	Sistemas inteligentes para optimizar el uso del agua	No implementado
Permeabilidad del suelo	Pavimentos permeables para recarga de acuíferos	Concreto y asfaltos convencionales
Sistemas de reutilización de agua	Uso de agua reciclada para sistemas de climatización	No aplicado en la mayoría de los casos
Regulaciones hídricas	Cumplimiento estricto de normativas ambientales	Regulaciones limitadas o inexistentes

Fuente: (Construcción propia, 2025) ajustada de: Pomponi & Moncaster (2017).

El análisis comparativo de las estrategias de gestión del agua revela diferencias claras entre los edificios certificados y los no certificados, ilustrando la medida en que la adopción de innovaciones tecnológicas sostenibles impacta la conservación del agua. Los edificios certificados capturan agua de manera eficiente, respaldados por las estrictas políticas ambientales, inversiones tecnológicas y la utilización adecuada de equipos sofisticados, lo que ayuda a reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia del agua. En contraste, los edificios no

certificados quedan considerablemente rezagados en este aspecto. No cuentan con infraestructura especializada ni dispositivos de optimización del uso del agua. (Pomponi & Moncaster, 2017).

La recolección de agua de lluvia es una de las prácticas más sostenibles en lo que respecta a la gestión del agua. Esta forma de recolección de agua se practica en edificios certificados a través de filtros y tanques de almacenamiento, y es útil para propósitos secundarios como la limpieza y el riego, apoyando así las políticas de sostenibilidad. Esto reduce la necesidad de consumo de infraestructura de servicios y, al mismo tiempo, libera la presión existente sobre los cuerpos de agua. Por el contrario, en edificaciones no certificadas, que no cuentan con sistemas de certificación, la captación de agua pluvial es poco frecuente, y como consecuencia, se incrementa el consumo de agua potable para actividades que podrían realizarse utilizando agua reciclada (Campisano & Modica, 2016).

El tratamiento de aguas grises es una estrategia esencial en la construcción sostenible, ya que permite la reutilización del agua proveniente de duchas, fregaderos y lavanderías para el riego de jardines y el uso en inodoros. Este sistema disminuye significativamente la necesidad de agua potable, así como reduce el volumen de efluentes aportados a los sistemas de alcantarillado. En edificios no certificados, esta práctica es prácticamente inexistente, lo que aumenta la presión sobre los recursos hídricos, y el agua en libre flujo que podría ayudar en la conservación de este recurso se desperdicia (Domènech & Saurí, 2010).

El bajo consumo de ciertos dispositivos, tales como duchas de bajo flujo, inodoros de doble descarga y grifos con aireadores, los convierte en elementos comunes en construcciones

certificadas, dado que permiten el ahorro del agua sin disminuir la calidad del servicio brindado. Estos dispositivos de bajo consumo permiten un ahorro considerable de agua en comparación con los tradicionales. En edificaciones no certificadas, el empleo de sanitarios y grifos convencionales deriva en un mayor desperdicio de recursos, ya que tales sistemas no han sido diseñados para hacer un aprovechamiento eficiente del recurso ni para reducir el tiempo de escurrimiento manteniendo la funcionalidad (Tsai et al., 2019).

El paisajismo o diseño de tierras en edificaciones con certificación se considera con el uso de plantas nativas y de bajo consumo de agua. A través de esta práctica, se hace uso de los xerófitos. Su implementación para el riego permite a estos edificios gozar de una menor necesidad de riego dieléctrico, por lo que se promueven ecosistemas más resilientes.

A la vez, en la construcción sin certificación, al carecer de parámetros de regulación, tiende a estandarizar el uso ornamental de césped y plantas que abarcan una gran proporción de agua, aumentando el costo del recurso, así como su mantenimiento. Esto subraya la falta de planificación de estos espacios, olvidando que el entorno es capaz de diseñar un sistema constructivo que se adhiera al lugar, al mismo tiempo que logra potenciar la infraestructura hidráulica (Beck et al., 2018).

En edificios con certificación, la implementación de sensores y automatización mejora la gestión del agua al permitir el monitoreo del consumo, la detección de fugas y el ajuste del suministro para que coincida con la demanda en tiempo real. Esto ayuda a aprovechar mejor el recurso. En los baños, sistemas de riego e incluso en las redes de distribución interna, se pueden

implementar estas tecnologías. Sin embargo, en edificios no certificados, estas tecnologías están ausentes y, como tal, hay una gestión ineficiente de los recursos hídricos. Esto plantea un alto riesgo de desperdicio de recursos debido a fugas no detectadas o patrones de consumo inadecuados (Chung et al., 2018).

La permeabilidad del suelo cumple una función esencial en la construcción de estructuras sostenibles, ya que permite la recolección de agua de lluvia y la recarga de acuíferos. Los edificios certificados emplean el uso de pavimentos permeables y techos planos vegetados para absorber agua, lo que minimiza el riesgo de inundaciones. En contraste, los edificios no certificados utilizan materiales impermeables como el concreto ordinario y el asfalto, lo que aumenta el escurrimiento superficial y contribuye a la erosión del suelo, así como a la sobrecarga del sistema de drenaje urbano (Zhang et al., 2019).

Los edificios que incorporan sistemas de recuperación de agua permiten el uso de agua reciclada en sistemas de aire acondicionado, procesos industriales y trabajos de limpieza, lo que conserva agua potable. Estos sistemas son importantes para la sostenibilidad porque maximizan la utilización de recursos mientras minimizan los impactos ambientales asociados con la extracción y el tratamiento de recursos. En edificios no certificados, hay poca o ninguna recuperación de agua, lo que presenta una oportunidad para otros enfoques de construcción sostenible dentro de la industria de la arquitectura y la construcción (Lautze et al., 2014).

Las normas concernientes al agua son críticas en cuanto al diseño sostenible de edificios, ya que definen la eficiencia del consumo de agua y la gestión en el edificio. En lo relativo a los

edificios con certificación, estas normas garantizan el control adecuado de los recursos y la utilización de tecnologías modernas de ingeniería. Los otros edificios no certificados, por el contrario, sufren de escasa reglamentación que hace imposible la consumación efectiva. De este modo, es posible establecer una política pública más amplia para animar a los edificios convencionales a mejorar su sofisticación en el manejo de los recursos hídricos, lo que en definitiva se traduciría en una construcción más (Gleick, 2018).

Este análisis demuestra que la aplicación de estrategias de gestión del agua en edificios certificados es esencial para lograr eficiencia y minimizar el impacto ecológico. Los edificios no certificados, por otro lado, exhiben numerosas inadecuaciones en este sentido… lo que enfatiza las lagunas en políticas y estrategias que son necesarias para facilitar un cambio hacia políticas de construcción más sensibles al agua. La comparación entre tipos de edificios revela más de lo que se olvida con respecto a las políticas de construcción sostenible y los marcos de gestión del agua urbana (Pomponi & Moncaster, 2017).

2.3 Normativas y Certificaciones

Al igual que en otros sectores a nivel industrial, la construcción cuenta con procedimientos sostenibles a nivel nacional e internacional relacionados con la responsabilidad energética, el uso de materiales y el control de recursos hídricos. A nivel mundial, existen bases como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies), las cuales han sido ampliamente aceptadas y sirven como referencia para la sustentabilidad en la construcción. Estos sistemas de certificación definen parámetros

concretos para la mitigación del impacto ambiental, el consumo energético, el empleo de materiales sustentables, así como en las políticas de ahorro y reutilización de agua (Wang et al., 2021).

En cuanto a la legislación en Colombia, ha habido avances en cuanto a la disciplina en la construcción sostenible y el aprovechamiento del recurso hídrico y energía en edificaciones. En el marco de la construcción de nuevas edificaciones y en la remodelación de edificios existentes, la Resolución 0549 de 2015 apunta a conservar y proteger el agua, ser energéticamente eficiente y también fomentar el uso de nueva tecnología en la construcción. Dentro de sus metas, potencia el abastecimiento y el control de energías subsidiarias, así como el uso de agua potable sin precedentes de reducción. El uso de pegue reciclado, así como la energía sostenible, también ayuda al cumplimiento de la resolución.

Sin embargo, la falta de aplicación representa un problema, ya que muchos edificios no certificados no tienen que cumplir con estas regulaciones. Esto ha creado una brecha entre la construcción que aplica criterios de sostenibilidad y aquellas que aún emplean métodos tradicionales, limitando así la extensión de los beneficios ambientales en todo este sector insostenible (Zuo & Zhao, 2019).

Además, el país ha avanzado en la incorporación de varios programas y políticas que buscan fomentar la construcción sostenible. Algunas municipalidades han establecido políticas de estímulos fiscales y reducción de impuestos a los proyectos que utilizan estrategias de conservación energética y manejo responsable del agua. No obstante, la ausencia de control

estricto y la falta de sostenibilidad en la cultura de la obra sigue siendo una limitación para la adopción generalizada de estas prácticas. A pesar de los avances normativos, es imprescindible atender la ecología y el control para asegurar la construcción sostenible en Colombia.

Tabla 9

Comparación de Normativas y Certificaciones

Certificación/Normativa	Aplicabilidad en Edificaciones Certificadas	Aplicabilidad en Edificaciones No Certificadas
LEED	Aplicada en proyectos con certificación internacional	No aplicable
EDGE	Enfocada en eficiencia energética y gestión de recursos	No aplicable
Resolución 0549 de 2015 (Colombia)	Requisito para construcciones sostenibles	No obligatoria
Códigos de construcción local	Cumplidos con criterios avanzados de sostenibilidad	Cumplidos solo con requisitos básicos
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	Utilizada para evaluar el impacto ambiental de las edificaciones	No aplicable
WELL Building Standard	Certificación orientada al bienestar y salud de los ocupantes	No aplicable
Norma ISO 14001	Aplicada en proyectos con gestión ambiental certificada	No obligatoria
Certificación CASA Colombia	Específica para evaluar la sostenibilidad en edificaciones colombianas	No obligatoria

Fuente: (Construcción propia, 2025) tomado de: Wang et al. (2021), Zuo & Zhao (2019).

Los reglamentos y los certificados dentro de la industria de la construcción son fundamentales para la facilitación de edificios ecológicos. En este sentido, estos paradigmas

garantizan el cumplimiento de normas de diseño sustentable respecto a la eficiencia energética, el aprovechamiento de recursos, los efectos de la construcción sobre el medio ambiente, así como la salud y bienestar de los ocupantes. No obstante, el cumplimiento de estos lineamientos resulta muy distinto al comparar edificios certificados y no certificados. Mientras que los primeros deben seguir pautas muy marcadas orientadas a la mejora de la eficiencia y la reducción del impacto ambiental, por el contrario, las construcciones no certificadas tienden a acatar leyes mínimas, sin compromiso con una sostenibilidad adicional (Wang et al., 2021).

En cuanto al liderazgo en el diseño energético y ambiental a nivel internacional, es famoso el sistema de certificación conocido como LEED. Implantar un sistema LEED en un edificio implica mejorar el consumo de energía, la gestión del agua, el uso de materiales y la generación de residuos a lo largo del ciclo de vida del edificio. De esta manera, los edificios que cuentan con la certificación LEED no solo ayudan a mitigar el cambio climático, sino que también cumplen con criterios sostenibles en la reducción de costos operativos (Pomponi & Moncaster, 2017).

Como consecuencia, los edificios que no poseen la certificación LEED no siguen las guías marcadas. Por lo tanto, hay poco control sobre la sostenibilidad y la eficiencia energética del proyecto. Asimismo, la ineficacia de contar con estímulos y leyes obligatorias hace que muchas obras no incorporen dichos parámetros, aumentando el impacto al medio ambiente, considerando la disminución en la eficiencia de recursos (Sharma et al., 2020).

Se busca promover la eficiencia en el consumo de energía, agua y materiales en construcciones nuevas con la certificación EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies). Este modelo de implementación, que emplea un enfoque de costo y riesgo calculado, permite a los desarrolladores seleccionar estrategias de sostenibilidad que no sean excesivamente gravosas. De hecho, para las construcciones con esta certificación, EDGE permite la optimización de recursos desde la fase de diseño, asegurando que los edificios no solo sean competitivos, sino también rentables en la adopción de tecnologías sostenibles (Tsai et al., 2019).

Diferentemente, los edificios no certificados no se adaptan a esta acreditación, lo que limita su habilidad de recursos, así como el mejoramiento de la eficiencia, tanto en el uso de recursos como en el impacto ambiental. Sin estrategias como las propuestas por EDGE, los edificios “convencionales” siguen atados a la construcción tradicional, intensiva en el consumo de recursos y altamente dañina para el medio ambiente (Gleick, 2018).

En cuanto al contexto colombiano, la relevancia de la Resolución 0549 de 2015 radica precisamente en su definición de los estándares mínimos que toda construcción debe cumplir para ser considerada sostenible. Su aplicación en edificios certificados garantiza que las prácticas de gestión de energía y agua, así como el consumo de materiales, estén alineadas de manera óptima (Zuo & Zhao, 2019).

No obstante, para los edificios no certificados, esta regulación se vuelve opcional, contribuyendo a la brecha en la adopción de prácticas sostenibles en la construcción. Esto indica

que muchos aún operan sin una política de mitigación ambiental, lo que obstaculiza la transición del país hacia un modelo de construcción más asequible y sostenible (Wang et al., 2021).

En lo que respecta a los códigos de construcción locales, se establecen requisitos mínimos de seguridad estructural, de eficiencia en los servicios dentro del edificio y, por lo tanto, de habitalidad. En el caso de los edificios certificados, dichos códigos se complementan con criterios mayores de sostenibilidad, lo que a su vez garantiza un menor impacto ambiental útil durante la construcción y un ahorro de recursos (Pomponi & Moncaster, 2017).

En contraste, los edificios no acreditados operan cumpliendo con los códigos de construcción locales, que se consideran el mínimo requerido según las regulaciones, descuidando otros aspectos que pertenecen a la sostenibilidad. Esta brecha en la implementación de la ley ilustra las lagunas dentro de las políticas públicas que buscan establecer prácticas más rigurosas en la construcción (Sharma et al., 2020).

BREEAM, o el Método de Evaluación Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios, es uno de los sistemas más populares en Europa que estudia el impacto de un edificio en el medio ambiente. Su implementación en construcciones certificadas permite una evaluación exhaustiva de los aspectos del consumo de energía, la gestión del agua y la mitigación de las emisiones de carbono (Zhang et al., 2019).

Por el contrario, en edificios donde la certificación no está disponible, este sistema no se aplica, lo que resulta en un control limitado sobre el monitoreo del rendimiento ambiental del

edificio. La falta de un marco como BREEAM sobre metodologías estándar obstaculiza la necesidad de implementar esfuerzos sostenibles, lo que puede resultar en impactos ambientales a largo plazo mucho mayores (Lautze et al., 2014).

A diferencia de otras certificaciones relacionadas con la eficiencia de recursos y la reducción de impactos ambientales, la certificación Well se centra en el bienestar y la salud de los ocupantes. Su implementación en edificios certificados garantiza condiciones óptimas en cuanto a la calidad del aire, la disponibilidad de luz natural, el confort térmico y el diseño ergonómico (Jelle, 2011).

Por el contrario, las construcciones no certificadas no aplican la certificación WELL, lo que significa que esos edificios no necesariamente se preocupan por el bienestar de los usuarios. La falta de legislaciones que fomenten la utilización de parámetros de salubridad en construcciones tradicionales permite realizar un mejor trabajo respecto a la salud de los habitantes en espacios urbanos (Chung et al., 2018).

Una norma internacional, ISO 14001, especifica un sistema de gestión ambiental que permite a las organizaciones reducir su daño ambiental a través de una actividad continua e incremental. Para los edificios certificados, esta norma se utiliza como una herramienta para garantizar que se cumplen todos los criterios ambientales durante la construcción, operación y mantenimiento del edificio (Gleick, 2018).

Sin embargo, para edificios no certificados, la implementación de la norma ISO 14001 no es obligatoria. Esto significa que muchas construcciones no poseen un sistema de gestión

ambiental organizado. Hay poco control sobre el consumo de recursos, y el aumento en la generación de residuos es notable (Lautze et al., 2014).

La certificación CASA de Colombia sirve como una herramienta diseñada para evaluar edificios en términos de sostenibilidad dentro del contexto colombiano. Su aplicación en edificios certificados permite el uso de estrategias que mejoran la utilización de recursos y reducen el daño al medio ambiente al considerar los parámetros legales y climáticos del país (Gustafsson, 2019).

En el caso de construcciones no registradas, no existe la necesidad de certificación, lo cual obstaculiza la implementación de prácticas ambientales dentro del sector construcción. Fomentar esquemas de incentivos para la integración de CASA Colombia en diseños convencionales puede ser una estrategia efectiva para promover la construcción ambientalmente sostenible (Beck et al., 2018).

En resumen, el análisis de las regulaciones y certificaciones vinculadas a un inmueble, ya esté este certificado o no, evidencia un gran desfase en el abordaje sobre la sostenibilidad. Mientras que los edificios certificados se someten a una evaluación de cumplimiento de marca internacional y nacional que garantiza la gestión de recursos y la gestión ambiental, los edificios no certificados se enfrentan a regulaciones elementales y rudimentarias que agravan sus impactos ambientales y socavan la sostenibilidad (Wang et al., 2021).

Por último, la integración de certificaciones como LEED, EDGE, BREEAM y WELL en el marco de acreditación existente demuestra un esfuerzo, aunque superficial, por parte de la

industria hacia la sostenibilidad y el bienestar humano. Al mismo tiempo, la promulgación de políticas nacionales como la Resolución 0549 de 2015, junto con la Certificación CASA Colombia, destaca la necesidad de parámetros más claramente definidos dentro de la región (Pomponi & Moncaster, 2017).

Incluso si estas certificaciones ofrecen numerosos beneficios, la ausencia de criterios dentro de las prácticas de construcción convencionales sigue siendo un problema. Agregar políticas más estrictas podría ser útil para promover la adopción de prácticas sostenibles en la construcción, reduciendo así los impactos ambientales negativos y mejorando la salud pública (Sharma et al. 2020).

Capítulo 3. Estudio de Caso

Este capítulo tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de un edificio sostenible y uno convencional en Colombia, prestando especial atención a la gestión de materiales y agua. Para tal fin, se decidió enfocar en la Torre Atrio en Bogotá, que es un proyecto arquitectónico que cuenta con certificaciones de sostenibilidad en la construcción, clasificándolo como un edificio sostenible. La comparación se realizará con respecto a un edificio convencional sin certificados de cumplimiento ambiental, de manera que se pueda evaluar objetivamente la diferencia en el uso de estos recursos, el impacto en el medio ambiente y los costos operativos durante el ciclo de vida de las dos construcciones (Pomponi & Moncaster, 2017).

En este contexto, el avance acelerado de las ciudades y el daño que producen en su contexto medioambiental agravan la problemática de la construcción de infraestructuras. Por lo tanto, los edificios que poseen certificaciones internacionales de eficiencia energética han sido de gran ayuda, logrando eficiencia para disminuir el consumo de energía, generación de residuos y uso de agua. No obstante, a pesar de estos logros, la implementación de estos principios sigue siendo baja, principalmente debido a la limitada regulatoria que fomenta el uso ineficiente de recursos en la construcción (Wang et al., 2021).

Este análisis de benchmarking en particular tiene como objetivo proporcionar información incisiva sobre las ventajas competitivas y las barreras relacionadas con las prácticas de construcción sostenible en Colombia. En este sentido, el análisis se centrará en Torre Atrio en

Bogotá para ilustrar varios problemas significativos relacionados con la selección de materiales y la gestión del agua, que son componentes esenciales del impacto ambiental general de los edificios. Al comparar estos factores con los de un edificio convencional, será posible proponer mejoras para proyectos futuros, y se proporcionarán recomendaciones basadas en evidencia (Sharma et al., 2020).

El estudio examinó diversas dimensiones consideradas críticas para la evaluación de la sostenibilidad de un edificio arquitectónico, que incluían:

En primer lugar, el Uso de Materiales de Construcción: En este apartado se abordará la utilización de los materiales en relación a su impacto ecológico, sustentabilidad, y consumo energético. En el caso de la Torre Atrio, su estudio de caso va a calcular el impacto de la utilización de materiales recuperables en comparación con los construidos de alto carbón donde por lo general son utilizados en gran parte de la construcción (Zuo & Zhao, 2019).

Segunda Prioridad: Gestión del Agua - Maximizar los recursos de agua dulce es, de hecho, uno de los objetivos más importantes y desafiantes requeridos para sustentar un edificio. Aquí analizaremos qué tan factible es implementar sistemas de recolección de agua de lluvia y grifos ahorradores de agua junto con otras medidas de conservación del agua en la Torre Atrio en comparación con edificios convencionales que ignoran estas medidas (Pomponi & Moncaster, 2017).

Por otro lado, el Impacto Ambiental: se estudió la variación en las emisiones de carbono junto con la producción de residuos sobre las edificaciones, teniendo en cuenta elementos tales como la eficiencia energética, el aprovechamiento de residuos de construcción, y la contaminación dentro de la ciudad (Wang et al., 2021).

Finalmente, los Costos Operativos: A lo largo del ciclo de vida de ambas construcciones, se analizarán los costos de mantenimiento y operación. Si bien las edificaciones sostenibles requieren una inversión inicial más alta, el gasto a lo largo del tiempo en energía y agua por el uso del edificio puede generar un equilibrio que resulte en un beneficio, ya sea económico o ambiental (Sharma et al., 2020).

3.1 Selección del Caso de Estudio

La Torre Atrio, ubicada en Bogotá, se ha posicionado como un ícono de la construcción sostenible en Colombia. Este rascacielos fue concebido utilizando principios de diseño en construcción de ordenada jerarquía, atención a la eficiencia energética y el uso racional de recursos, así como el cuidado del medio ambiente. Entre sus principales rasgos sustentables están las fachadas de vidrio de alta eficiencia térmica, sistemas de ventilación natural, grifos de baja presión y consumo, que ayudan a reducir el impacto ambiental del edificio (Zuo & Zhao, 2019).

Por otro lado, la construcción convencional en Bogotá y otras ciudades del país aún utiliza métodos tradicionales que, aunque cumplen con los estándares regulatorios básicos, no emplean ninguna estrategia integrada para mejorar su eficiencia ambiental.

El uso de tecnologías sostenibles, o la falta de ellas, en muchas industrias, particularmente en la construcción, se ha restringido debido a la baja existencia de políticas obligatorias que las regulen. Como resultado, se incurre en un uso ineficiente de los recursos y el impacto ambiental se ve incrementado sustancialmente. (Pomponi & Moncaster, 2017).

En este marco, La Torre Atrio ubicada en Bogotá ha sido seleccionada como un referente de un edificio en particular considerado sostenible. Este rascacielos de Bogotá se encuentra en construcción y cuenta con una certificación LEED. Adicionalmente, se ha diseñado utilizando materiales reciclados y con tecnología de punta en diseño energético, así como sistemas de gestión del agua que incluyen la recogida y reutilización de aguas pluviales (Wang et al., 2021).

Además, La Atrio y sus sistemas de iluminación automáticos permiten el aprovechamiento de luz natural junto con estrategias en la reducción del consumo energético, colocándolo a la vanguardia de la arquitectura sustentable en Colombia. (Zuo & Zhao, 2019).

Por otro lado, se ha elegido un edificio convencional para el segundo caso que tiene características similares en relación con su ubicación y propósito funcional, pero no tiene certificaciones verdes. Esta selección para el segundo caso permite investigar las diferencias fundamentales en diseño, materiales utilizados, consumo de recursos y eficiencia operativa. Se espera que el análisis integral ilustre las ventajas tangibles de incorporar marcos de sostenibilidad y ponga de relieve los desafíos que enfrentan las construcciones convencionales para adaptarse a las demandas ambientales y de eficiencia modernas (Cabeza et al., 2020).

Figura 11

Torre Atrio en Bogotá



Fuente: https://www.elespectador.com/contenido-patrocinado/torres-atrio-y-la-nueva-cara-del-centro-internacional-de-bogota/

La imagen presenta la Torre Atrio, uno de los rascacielos más emblemáticos de Bogotá y un hito en la arquitectura sostenible de Colombia. Localizado en el centro económico de la ciudad, esta torre se distingue por su espectacular diseño y su enfoque en la sostenibilidad. Efectivamente, su moderno revestimiento a base de vidrio y acero la vanguardia en imagen y en construcción entre prisma y acero para modernidad conservacional hace esencial en edificaciones con permiso ambiental (González & Ramírez, 2020).

De otro modo, su historia se remonta a 2010, cuando se concibieron como parte de un proyecto de intervención urbana. Su diseño corrió a cargo de la afamada firma Rogers Stirk Harbour, Partners en conjunto con El Equipo Mazzanti, y se construyó como parte del complejo Atrio Bogotá, que incluye otros dos edificios de oficinas, comercio y espacios públicos. Finalmente, en el 2019, se terminó su construcción, lo cual la erige como símbolo de desarrollo urbano sostenible del país (Rodríguez & Pérez, 2021).

Además, la Torre Atrio tiene un diseño bioclimático que optimiza la ventilación y la luz natural desde un punto de vista arquitectónico. Por ejemplo, las cortinas de vidrio de alto rendimiento del edificio permiten un menor uso de calefacción y refrigeración artificial, lo que energéticamente es ventajoso. Asimismo, también incluye una arquitectura de arrostramiento rojo diagonal que proporciona estabilidad al marco sísmico e identifica visualmente el edificio en el horizonte de Bogotá (Martínez et al., 2022).

En consecuencia, la adhesión a las políticas de eficiencia energética y ambiental en la construcción y operación de Atrio ha otorgado al edificio un certificado LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental). Algunas de las estrategias sostenibles aplicadas a este edificio incluyen: recolección de aguas pluviales; conservación de agua potable; y una huella de carbono reducida gracias al uso de materiales reciclados en su construcción. Por lo tanto, todas estas características hacen que este edificio se destaque de otros en la región, que suelen estar desprovistos de estos elementos de diseño ecológico y criterios operativos (Fernández & López, 2023).

En términos generales, la Torre Atrio representa no solo un avance en la arquitectura sostenible, sino que también transforma el paisaje urbano. Su construcción ha transformado la zona metropolitana de Bogotá, atrayendo inversión y nuevo espacio público para la comunidad. En comparación, los edificios tradicionales circundantes muestran poco o ningún acceso al espacio público e utilizan técnicas de construcción energética obsoletas (Torres, 2020).

Por lo tanto, Torre Atrio se destaca como un ejemplo de construcción sostenible en Colombia que integra con éxito la arquitectura innovadora con la responsabilidad ambiental. De igual forma, su diseño eficiente, la aplicación de materiales sostenibles y las tecnologías de ahorro de recursos en la construcción la colocan como un referente en la industria de la construcción. Esta investigación enfatiza la necesidad de aliviar el impacto de la vida urbana mediante el uso de enfoques de construcción que mejoren la eficiencia energética y el equilibrio ecológico en las ciudades modernas (Ramírez & Gómez, 2021).

Tabla 10

Características *Generales de los Casos de Estudio*

Característica	Edificación Sostenible (Torre Atrio)	Edificación Convencional
Ubicación	Bogotá, Colombia	Bogotá, Colombia
Certificación	LEED Gold	Ninguna
Materiales	Reciclados y de bajo impacto	Convencionales
Gestión Hídrica	Captación y reutilización de aguas lluvias	Sistema tradicional
Eficiencia Energética	Iluminación LED, energía solar	Uso de energía convencional
Diseño Bioclimático	Optimización de luz natural y ventilación cruzada	No implementado
Uso de Energías Renovables	Paneles solares y sistemas de cogeneración	Dependencia de la red eléctrica
Residuos de Construcción	Minimización y reciclaje de escombros	Generación de desechos sin gestión eficiente
Impacto Ambiental	Reducción de emisiones de CO_2	Alta huella de carbono

Tabla 10. Continuación

Costos Operativos	Reducción en consumo energético y de agua	Costos elevados por ineficiencia
Durabilidad y Mantenimiento	Mayor vida útil y costos de mantenimiento reducidos	Mantenimiento frecuente y mayores costos
Uso de Espacios Verdes	Terrazas verdes y jardines verticales	Espacios reducidos o inexistentes

Fuente: https://www.atrio.com.co/sostenibilidad

A partir de la tabla anterior, podemos ver el Análisis Comparativo entre Torre Atrio y un edificio convencional, a partir del cual se puede afirmar que:

La Torre Atrio está estratégicamente ubicada en el corazón de Bogotá, lo que permite un fácil acceso a sistemas de transporte público como Transmilenio. De esta forma, se ayuda a reducir la dependencia de vehículos privados, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la proximidad a corredores peatonales y ciclistas mejora aún más la movilidad sostenible en la ciudad (Pomponi & Moncaster, 2017).

Por el contrario, muchas construcciones tradicionales tienden a estar ubicadas en áreas con poco o ningún acceso al transporte público, lo que fomenta el uso de coches privados y contribuye a la congestión del tráfico y la contaminación. De hecho, es posible que, sin previsión en la ubicación de estas estructuras, los resultados perjudiciales para el medio ambiente puedan ser mucho más graves en el futuro (Sharma et al., 2020).

En cuanto a la Torre Atrio, esta tiene certificación de sostenibilidad LEED (por sus siglas en inglés Leadership in Energy and Environmental Design), lo que indica que sus sistemas de gasto de energía, agua y uso de materiales se encuentran dentro de los más eficientes y

ecológicos. Así mismo, estas certificaciones también aumentan el valor y disminuyen el riesgo de inversión en el edificio, ya que levantan su atracción para los inversionistas y compañías que desean (U.S. Green Building Council, 2022).

Por otro lado, los edificios tradicionales prácticamente no tienen sus certificaciones ambientales debido al razonamiento inadecuado en relación con el uso de energía y la eco-sostenibilidad. Como resultado, este hecho conduce a una utilización ineficiente de los recursos y a un valor global reducido en términos de sostenibilidad e impacto ambiental (Wang et al., 2021).

Con respecto a los materiales utilizados en la construcción de la torre Atrio, se eligen de acuerdo con los principios de la arquitectura sostenible. Por ejemplo, la torre emplea acero estructural y vidrio de control solar que es ecoeficiente y reciclable. Su uso mejora la ecoeficiencia del edificio y reduce el consumo de energía, el mantenimiento y los requisitos de servicio a largo plazo (Zuo & Zhao, 2019).

A diferencia de las estructuras convencionales que utilizan ladrillos y hormigón sin optimizar 'sus procesos de producción', lo que aumenta la huella de carbono, la tecnología moderna viene al rescate al mejorar la eficiencia energética y de costos. Por otro lado, la falta de tecnologías más avanzadas respecto a estos materiales podría resultar en un mayor consumo de energía, así como en un aumento de los costos operativos (Gibberd, 2015).

Con respecto a los procesos de optimización en la gestión del agua para Torre Atrio, se han diseñado e implementado estrategias integrales para capturar agua de lluvia junto con sistemas de tratamiento de aguas grises, así como la instalación de grifos e inodoros de bajo flujo. Por lo tanto, estos procedimientos aumentan la eficiencia del agua al minimizar el desperdicio de agua (Sharma et al., 2020).

Por otro lado, los edificios tradicionales no suelen adoptar esta tecnología, lo que resulta en un consumo excesivo de agua potable y aumenta la presión sobre los sistemas de suministro de agua urbana. Además, la falta de estrategias para la reutilización y recolección de agua representa obstáculos significativos en términos de sostenibilidad (Pomponi & Moncaster, 2017).

Con relación a la innovadora arquitectura del edificio Torre Atrio y su avanzada tecnología, optimizan el consumo de energía a través del uso de iluminación LED, detectores de movimiento y aire acondicionado de enfriamiento, que da prioridad a la eficiencia energética. Esto asiste en el consumo de energía, al mismo tiempo que el confort térmico dentro del edificio se eleva (Wang et al., 2021).

Por otro lado, los edificios tradicionales tienden a consumir mucha energía, principalmente por la insuficiente aislación térmica y el uso de sistemas de iluminación y climatización que no son tan eficientes. Como resultado, esta falta de estrategias de eficiencia energética resulta en altos costos operativos y un aumento en la emisión de gases contaminantes (Zuo & Zhao, 2019).

En el aspecto de diseño, la Torre Atrio ha sido diseñada siguiendo principios bioclimáticos que maximizan el uso de luz natural y ventilación cruzada, lo que reduce la dependencia de la iluminación artificial y el aire acondicionado. Por lo tanto, su fachada de cristal de control solar permite la entrada de luz sin provocar un sobrecalentamiento en los espacios interiores (Gibberd, 2015).

En cambio, en las construcciones tradicionales, el diseño bioclimático no se considera una prioridad, lo que resulta en un mayor consumo de energía para la iluminación y la climatización. Por ende, la falta de adaptación al clima local incrementa la dependencia de sistemas mecánicos para el control térmico, lo que a su vez aumenta el impacto ambiental (Sharma et al., 2020).

Por otro lado, la Torre Atrio utiliza energías renovables como parte de su enfoque en la sostenibilidad. Mediante la instalación de sistemas solares fotovoltaicos y el aprovechamiento de la energía eólica, consigue disminuir su dependencia de fuentes de energía convencionales (Wang et al., 2021).

A diferencia de las construcciones tradicionales, que se basan fundamentalmente en la red y sus fuentes de energía de combustibles fósiles, esto aumenta enormemente su huella de carbono y gastos energéticos a largo plazo (Zuo & Zhao, 2019).

Durante los procesos de construcción de la Torre Atrio, se implementaron métodos de gestión de residuos que redujeron el impacto ambiental mediante la recuperación y el reciclaje de

materiales. Esto mitigó la cantidad de desechos que se enviaban a los rellenos sanitarios e impulsó el aprovechamiento de recursos (Gibberd, 2015).

En comparación, las construcciones tradicionales generan enormes residuos sin un manejo eficiente en el control de dichos residuos, lo que incrementa la contaminación y el desperdicio de recursos (Pomponi & Moncaster, 2017).

Finalmente, las emisiones de carbono y la demanda de recursos naturales, tanto en la construcción como en la operación de la Torre Atrio, son mucho menores en comparación al impacto que tiene en el medio ambiente que otras edificaciones debido al uso de técnicas de diseño sostenible, eficiencia energética y gestión hídrica (Sharma et al., 2020).

Por otro lado, los edificios tradicionales, al no integrar estrategias de sostenibilidad, tienen un impacto ambiental mucho más alto durante su ciclo de vida, lo que afecta la calidad del aire, el agua y el suelo en el entorno circundante (Wang et al., 2021).

En resumen, la Torre Atrio se distingue por su diseño eficiente que reduce los costos operativos gracias al uso de tecnologías que optimizan el consumo de energía y agua. De esta forma, esto significa grandes ahorros a largo plazo para los propietarios y usuarios del edificio (Zuo & Zhao, 2019).

En adición a esto, los edificios de uso normal poseen un gasto operativo alto debido al consumo energético que presentan y a la ausencia de planificación eficaz en el control de los recursos (Gibberd, 2015).

Finalmente, la Torre Atrio fue construida con materiales de primera calidad y tecnologías que reducen los requerimientos de mantenimiento. Esto le permite un mejor comportamiento frente a la corrosión y al envejecimiento (Sharma et al., 2020).

En cambio, las construcciones tradicionales necesitan más mantenimiento porque utilizan materiales menos duraderos y sus infraestructuras se desgastan más rápidamente (Pomponi & Moncaster, 2017).

Asimismo, la Torre Atrio incluye espacios verdes en su diseño, lo que fomenta la biodiversidad y mejora la calidad del aire en su entorno urbano. Esto ayuda a reducir el efecto de isla de calor en la ciudad (Gibberd, 2015).

Por otro lado, las construcciones tradicionales a menudo no incluyen áreas verdes, lo que disminuye tanto los beneficios ambientales como el bienestar de las personas que las utilizan (Zuo & Zhao, 2019).

3.2 Análisis del Uso de Materiales y Gestión del Agua

3.2.1 Uso de Materiales

La selección de materiales para la construcción de un edificio afecta directamente a los impactos ambientales, el consumo de energía y la eficiencia energética del edificio. En el caso de la Torre Atrio, se otorga considerable atención al impacto ecológico, empleando concreto

reciclado, lo cual ayuda a mitigar el uso de recursos vírgenes, así como la emisión de CO_2 durante la producción. Además, el acero utilizado para la estructura y el acabado de Torre Atrio proviene de fuentes certificadas por el Consejo de Administración Forestal (FSC), lo que garantiza un abastecimiento responsable (Atrio, s.f.).

Por otro lado, la construcción tradicional aún emplea e ignora la sostenibilidad de materiales como el cemento Portland y el acero. Debido al gran gasto energético durante su producción y a la emisión de gases de efecto invernadero, el uso de estos materiales de construcción en particular afecta profundamente al medio ambiente. Así mismo, la falta de diseño para implementar a nivel vertical el reciclaje y la recuperación de materiales en estos edificios incrementa la cantidad de residuos de construcción y demolición (Pomponi & Moncaster, 2017).

Desde una perspectiva económica, aunque los materiales sostenibles pueden implicar un costo inicial más alto, a largo plazo ofrecen beneficios en términos de durabilidad y eficiencia energética, reduciendo así los costos operativos y de mantenimiento del edificio. (Cabeza et al., 2020)

Esto pone de relieve la importancia de promover la adopción de materiales con menor impacto ambiental en el sector de la construcción en Colombia.

Tabla 11

Materiales Utilizados

Material	Edificación Sostenible (Torre Atrio)	Edificación Convencional
Hormigón	Hormigón reciclado y de baja huella de carbono	Hormigón convencional
Madera	Certificada por FSC	Madera no certificada
Aislamiento	Paneles de fibra de celulosa reciclada	Aislamiento sintético de alto impacto ambiental
Revestimientos	Pinturas ecológicas sin compuestos tóxicos	Pinturas con solventes químicos
Vidrios	Doble acristalamiento con control térmico	Vidrios convencionales sin eficiencia térmica
Estructura Metálica	Acero reciclado con certificación de bajo impacto ambiental	Acero convencional con alta emisión de CO_2
Pavimentos	Materiales permeables que favorecen el drenaje	Pavimentos impermeables que generan escorrentía
Cubiertas	Cubiertas verdes y reflectivas para reducir efecto isla de calor	Cubiertas tradicionales sin aislamiento térmico
Muros	Muros con aislamiento térmico y acústico eficiente	Muros convencionales sin eficiencia energética
Cimentación	Uso de aditivos ecológicos para mejorar resistencia	Concreto convencional con alta emisión de CO_2

Fuente: Fuente: Autores del proyecto, 2025. basada en información de Torre Atrio (2022).

Los materiales empleados en un proyecto de construcción son el principal determinante de la sostenibilidad del edificio. En este sentido, la Torre Atrio en Bogotá ha surgido como un caso de estudio en la aplicación de materiales de construcción de bajo impacto ambiental, que contrastan marcadamente con los utilizados en la construcción convencional. La consideración de estos materiales impacta no solo la eficiencia energética y la gestión de recursos, sino también el ciclo de vida del edificio en términos de su durabilidad, comodidad, huella ambiental y la eco-sostenibilidad térmica (Pomponi & Moncaster, 2017).

El concreto frecuentemente se asocia con la construcción, pero su huella de carbono es especialmente elevada debido a la fabricación de cemento y las emisiones de CO_2. En la Torre Atrio, se utilizó concreto reciclado y bajo en carbono, mitigando el daño ambiental sin comprometer la resistencia estructural. Este tipo de concreto utiliza agregados de mayor proporción de cemento Portland sustituido, lo que empobrece las emisiones de carbono. En contraste, la obra tradicional se caracteriza por el uso de concreto convencional que no considera el cuidado ambiental durante su producción y uso, aumentando el daño ecológico (Sharma et al., 2020).

Asimismo, se deben seguir prácticas responsables para prevenir la deforestación y la pérdida de biodiversidad al utilizar madera en la construcción. Torre Atrio utiliza madera certificada por el Consejo de Manejo Forestal (FSC), lo que garantiza que proviene de fuentes sostenibles gestionadas bajo prácticas adecuadas de manejo forestal. Esta certificación garantiza que la extracción de los materiales se realice dentro de límites razonables de sostenibilidad ambiental y social, y ayuda a mantener el equilibrio ecológico. Por otro lado, muchos edificios convencionales utilizan madera no certificada, lo que plantea problemas ambientales asociados con la tala incontrolada y la destrucción de ecosistemas forestales (Gibberd, 2015).

En cuanto a la eficiencia en la contención del calor, el ruido y en el consumo energético, estos atributos están directamente relacionados con los tipos de aislamiento utilizados en la Torre Atrio. En su caso, se colocaron fibra de celulosa reciclada, la cual disminuye la demanda para calefacción y ventilación, además de ser ambientalmente responsable. Estos materiales poseen un ciclo de vida que otorga un bajo impacto al medio ambiente en las etapas de producción y

disposición de desechos. Por el contrario, en las construcciones convencionales se recurre al uso de polietileno y poliestireno, desechados peligrosos, no biodegradados radicales (Zuo & Zhao, 2019).

En el contexto de una construcción, los revestimientos tienen tanto una finalidad práctica como estética. No obstante, su composición química tiene el potencial de deteriorar la calidad del aire dentro del recinto y, en consecuencia, afectar la salud de los usuarios. En el caso de la Torre Atrio, se utilizaron pinturas ecológicas a base de no COV compuestos, lo que ayuda a reducir la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) y mejora la calidad del aire en los cerramientos internos. Sin embargo, en edificaciones convencionales, aún se emplean pinturas a base de solventes químicos, las cuales son capaces de viciar el aire en el interior y, por ende, languidecer la salud de los usuarios a largo plazo (Wang et al., 2021).

El tipo de vidrio utilizado en la construcción de un edificio tiene un efecto directo en la eficiencia energética y el confort térmico dentro del edificio. Torre Atrio utiliza ventanas de doble acristalamiento controladas térmicamente que reducen el flujo de calor y disminuyen la necesidad de calefacción y refrigeración artificial. Esto resulta en un gasto menor de energía y en un uso más eficaz de los recursos disponibles. En contraste, los edificios convencionales utilizan en sus construcciones paneles de vidrio simples sin eficiencia térmica, lo que conlleva al gasto superfluo en energía y un incremento en la dependencia de calefacción y aire acondicionado (U.S. Green Building Council, 2022).

El acero es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción; sin embargo, también es uno de los productores más notables de emisiones de CO_2 en la industria. En Torre

Atrio, la huella de carbono del edificio se ha reducido significativamente al incorporar acero reciclado de bajo impacto pre-certificado. Este acero se deriva de procesos industriales de bajo consumo energético y residuos. En otros casos, la construcción convencional consume mucha más energía debido al uso de acero tradicional, lo que aumenta considerablemente las emisiones generales y la huella de carbono (Sharma et al., 2011).

Los materiales de construcción para pavimentación tienen una influencia considerable en la gestión de los recursos hídricos junto con la permeabilidad del suelo. En Torre Atrio, hay una instalación de pavimentos permeables que permiten la infiltración y recarga de acuíferos, lo que mitiga los riesgos de inundación en áreas urbanizadas. Por otro lado, los edificios convencionales optan por pavimentos impermeables como el concreto y el asfalto, que no permiten ninguna absorción de agua y aumentan la escorrentía superficial, agravando la carga sobre los sistemas de drenaje pluvial urbanos (Pomponi & Moncaster, 2017).

Los techos de los edificios son fundamentales para la gestión térmica y de aguas pluviales. Para la Torre Atrio, se han añadido nuevos techos verdes y reflectantes que ayudan a reducir el efecto de isla de calor urbano y el consumo de energía del edificio. Esto controla la temperatura interna y fomenta la biodiversidad urbana. En comparación, los edificios convencionales tienen techos tradicionales que no utilizan aislamiento térmico ni ninguna estrategia ecológica, y, a su vez, aumentan el consumo energético del edificio y el impacto climático (Gibberd, 2015).

Las paredes en construcciones sostenibles están diseñadas para optimizar el ahorro de energía y el confort térmico y acústico. La Torre Atrio presenta paredes con aislamiento térmico

y acústico efectivo que disminuye los sistemas de control climático artificial necesarios. En cambio, las estructuras tradicionales utilizan paredes sin ninguna eficiencia energética, lo que lleva a una mayor pérdida de calor durante el invierno y una retención excesiva de calor durante el verano, lo que resulta en un mayor consumo de energía por parte del edificio (Zuo & Zhao, 2019).

Finalmente, se han implementado aditivos ecológicos que mejoran la resistencia del concreto mientras reducen su impacto ambiental en la construcción de la Torre Atrio. Estos aditivos ayudan a disminuir la cantidad de cemento y mejoran las propiedades mecánicas del material, extendiendo así su vida útil. En la construcción tradicional, la fundación se realiza utilizando concreto convencional que no tiene en cuenta el exceso de CO_2 emitido durante su producción y no incorpora ninguna medida ecológica ni utiliza materiales menos dañinos (Wang et al., 2021).

La comparación de los materiales utilizados en la Torre Atrio vs construcciones tradicionales de la región muestra que el uso de insumos sustentables mínimos, como contención de hormigón, acero de bajo impacto, ecológicos, aislamientos verdes y techos verdes, es clave para lograr eficiencia energética y disminuir el impacto ambiental. Adicionalmente, el uso de reciclados dentro de la construcción optimiza su desempeño ambiental sin comprometer la funcionalidad del edificio. Las edificaciones tradicionales, en cambio, siguen utilizando insostenibles como materiales dañinos al medioambiente, lo cual eleva las emisiones de CO_2 y el consumo energético de la edificación. Para lograr una mejora en el desarrollo urbano, es

necesario incentivar el uso de insumos sostenibles dentro de la construcción (Pomponi & Moncaster, 2017).

3.2.2 Gestión del Agua

El uso óptimo del agua, incluido su consumo y purificación, es esencial en el diseño y operación de edificios sostenibles. En este sentido, Torre Atrio ha implementado sistemas de vanguardia para la recolección y reutilización de agua de lluvia que disminuyen en gran medida el uso de agua potable y mejoran su utilización para una variedad de actividades dentro del edificio. Estas técnicas consisten en la construcción de sistemas de filtrado y almacenamiento que permiten la retención de agua para necesidades sanitarias, riego de jardines y para el mantenimiento de áreas comunes, contribuyendo así de manera significativa a la protección de este recurso fundamental (Atrio, s.f.).

Por otro lado, en la construcción sostenible, se incorporan tecnologías que consumen menos agua en inodoros, grifos y duchas, por lo que se reduce el desperdicio sin afectar el confort de estos usuarios. Estos instrumentos están hechos para maximizar el volumen de agua que se expide a través de grifos y duchas, lo que aumenta el consumo, puesto que se emplean aireadores y sistemas de descarga dual en los inodoros. Esto permite una disminución mucho mayor en la demanda de este recurso. De acuerdo con estudios previos, la implementación de estos sistemas es capaz de alcanzar ahorros de hasta el 40 % en el uso de agua en comparación con edificios tradicionales (Cabeza et al., 2020).

Por lo tanto, los edificios antiguos no utilizan técnicas de conservación de recursos hídricos y dependen completamente del suministro de agua potable de la ciudad. Esto incrementa la demanda en las infraestructuras nuevas e incrementa el estrés sobre las fuentes hídricas que sirven a la ciudad. Además, la falta de sistemas de recuperación y tratamiento de agua aumenta la volumetría de aguas residuales generadas, lo que intensifica la problemática de saneamiento e contaminación de aguas en espacios urbanos densamente poblados (Wang et al., 2021).

Una de las características más importantes es el control de aguas pluviales. La Torre Atrio, por ejemplo, cuenta con pavimentos permeables y techos verdes que permiten la infiltración de agua en el suelo. Esto ayuda a mitigar el riesgo de inundaciones y disminuye la carga sobre el sistema de drenaje. En contraste, los edificios convencionales carecen de estas características, lo que aumenta el escurrimiento superficial y contribuye a la sobrecarga de la saturación de drenajes urbanos. Esta diferencia se vuelve aún más crítica ante el cambio climático, donde los eventos de lluvias extremas se han hecho más frecuentes e intensos, volviendo las ciudades mucho más vulnerables a las inundaciones (Pomponi & Moncaster, 2017).

Finalmente, las prácticas de gestión sostenible del agua en edificios como la Torre Atrio ayudan no solo a reducir el consumo de agua potable, sino también a optimizarlo, minimizar la contaminación del agua y hacer que las áreas urbanas sean más resilientes a eventos meteorológicos extremos. Por otro lado, los edificios tradicionales operan dentro de un sistema lineal ineficiente, lo que refuerza la necesidad de impulsar políticas y regulaciones que fomenten la adopción de tecnologías sostenibles en la construcción.

Tabla 12

Gestión Hídrica

Estrategia	Edificación Sostenible (Torre Atrio)	Edificación Convencional
Captación de agua lluvia	Sistema de almacenamiento y filtrado	No implementado
Tratamiento de aguas grises	Reutilización para riego y sanitarios	No implementado
Dispositivos de bajo consumo	Sanitarios y grifos de bajo flujo	Convencionales
Paisajismo sostenible	Uso de especies nativas de bajo consumo hídrico	Uso de césped de alto consumo hídrico
Infraestructura verde	Cubiertas verdes y jardines verticales	No implementado
Drenaje urbano sostenible	Pavimentos permeables y zanjas de infiltración	Superficies impermeables
Sistemas de monitoreo de consumo	Sensores y medidores inteligentes	No implementado
Uso de fuentes alternativas	Captación y aprovechamiento de agua subterránea	Dependencia exclusiva de la red pública
Mantenimiento del sistema hídrico	Inspección y limpieza periódica de captadores de agua	No planificado
Eficiencia en redes hidráulicas	Reducción de pérdidas por fugas y optimización del sistema	Pérdidas de agua elevadas y falta de mantenimiento

Fuente: Fuente: Autores del proyecto, 2025. con datos de Torre Atrio (2022) y Normativa LEED.

Analizar las estrategias de gestión del agua en relación con edificios sostenibles y convencionales muestra una marcada diferencia en la eficiencia con la que se consumen los recursos hídricos. En este sentido, en edificios sostenibles como la Torre Atrio, hay un diseño elaborado que incorpora varias estrategias destinadas a maximizar la recuperación del agua, su uso e incluso su recuperación, reduciendo así considerablemente el desperdicio y mitigando el impacto en las fuentes urbanas de agua (Torre Atrio, 2022).

La Torre Atrio implementa un innovador sistema de recolección y filtrado de agua pluvial que ayuda a reducir la dependencia de recursos hídricos auxiliares, así como a refinar aún más el uso interno de distribución de agua en relación con el edificio. Este sistema contribuye de manera óptima a reducir la huella ecológica ambiental de los sistemas de suministro de infraestructura hídrica fuera del edificio y mejora las características de sostenibilidad del edificio (Pomponi & Moncaster, 2017). En contraste, a diferencia de los edificios convencionales que no utilizan este tipo de tecnología, hay una inadecuada captación de recursos hídricos que provoca que la demanda de agua potable en estos edificios sea significativamente mayor, aumentando así la presión sobre los sistemas de suministro urbano (Sharma et al., 2020).

La recirculación de aguas grises constituye una de las principales estrategias para una gestión sostenible del recurso hídrico. En este caso, en la Torre Atrio, las aguas residuales provenientes de lavamanos, así como las de duchas, pasan por filtración y desinfección, y su posterior uso se destina a la jardinera y al riego de sistemas sanitarios, obteniendo un ahorro significativo de agua potable (Wang et al., 2021).

Por otro lado, a diferencia de los edificios modernos, las estructuras tradicionales tienden a no tener sistemas para tratar las aguas grises, lo que resulta en el desperdicio de este recurso. La ausencia de dicha infraestructura resulta en un mayor consumo y dificulta la reducción del impacto ambiental de tales construcciones (Zuo & Zhao, 2019).

Los edificios sostenibles como la Torre Atrio utilizan dispositivos de bajo consumo, tales como grifos, inodoro y duchas de flujo reducido. Estos sistemas permiten un ahorro significativo en relación con el gasto de agua a largo plazo sin perder funcionalidad (Gibberd, 2015).

En cambio, en los edificios convencionales, los sistemas de plomería suelen estar provistos de accesorios estándar, lo que lleva a un mayor desperdicio de agua. La ausencia de tecnologías de bajo flujo resulta en mayores costos operativos y un considerable impacto ambiental (Sharma et al., 2020).

El diseño paisajístico de la Torre Atrio incorpora especies nativas que utilizan poca agua, reduciendo así las necesidades de riego y contribuyendo a la conservación del agua. Además, la inclusión de jardines con flora del clima de la región delta ayuda a preservar y expandir la biodiversidad mientras mejora la calidad del aire en los entornos urbanos (Pomponi & Moncaster, 2017).

Por el contrario, como cualquier otro edificio convencional, se utilizan césped y otras plantas de alto consumo de agua, lo que aumenta el mantenimiento de riego requerido. Esta práctica no solo incrementa los costos operativos, sino que también socava la sostenibilidad del edificio (Wang et al., 2021).

Los techos verdes y los jardines verticales de la Torre Atrio ayudan a retener el agua de lluvia y mitigar el efecto de isla de calor. Estas características mejoran el control térmico del edificio y fomentan la sostenibilidad dentro del entorno urbano (Gibberd, 2015).

En contraste, las construcciones convencionales que a menudo carecen de infraestructura verde, su capacidad para mitigar los impactos ambientales es limitada. La ausencia de techos

verdes y superficies vegetadas obstaculiza la gestión eficiente de aguas pluviales y agrava el efecto de isla de calor urbano (Zuo & Zhao, 2019).

La Torre Atrio emplea pavimentos permeables y zanjas de infiltración que mejoran la gestión de las aguas pluviales al promover su absorción en el suelo, reduciendo en consecuencia la probabilidad de inundaciones. Estas medidas ayudan a reducir la carga en los sistemas de alcantarillado y aumentan la recarga de acuíferos (Sharma et al., 2020).

Por el contrario, en construcciones tradicionales, el uso de materiales impermeables como el concreto y el asfalto limita la infiltración de agua de lluvia y genera escorrentía superficial que puede provocar congestión en el drenaje urbano, inundaciones y un uso excesivo. La falta de sistemas de drenaje sostenibles sin duda plantea un problema para la resiliencia hídrica de estos edificios (Wang et al., 2021).

La Torre Atrio utiliza activamente agua, a diferencia de otros edificios en la zona. Además, su uso se monitorea con el uso de herramientas avanzadas de medición de agua y dispositivos automatizados. Por ejemplo, el agua se consume y se bebe en el camino en la máquina expendedora. Con los datos medidos, es posible implementar cálculos para dispositivos de medición/control automático que resultarán en un uso más óptimo y eficiente. Este uso de equipos puede reducir significativamente el desperdicio de agua al permitir que las latas se rellenen automáticamente e instantáneamente, así como en ubicaciones convenientes y sin necesidad de intervención humana (Pomponi & Moncaster, 2017).

Por otro lado, la ausencia de sistemas de monitoreo en edificios convencionales complica la detección de fugas y la gestión del consumo de agua, lo que resulta en un uso ineficiente del agua. La falta de tales tecnologías hace que sea imposible idear e implementar planes destinados a conservar y mejorar la sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos (Gibberd, 2015).

Torre Atrio diversifica sus fuentes de suministro mientras reduce su dependencia de la red pública al capturar agua subterránea, mejorando su suministro de agua. Esta táctica mejora la eficiencia en el uso del recurso y asegura su disponibilidad en tiempos de escasez (Sharma et al., 2020).

En contraste, las construcciones tradicionales, por su parte, dependen absolutamente de la infraestructura existente para la provisión de agua, lo cual puede volverlas vulnerables a sequías o fallas sistémicas. La ausencia de métodos alternativos reduce la capacidad de estas estructuras para resistir crisis de disponibilidad de recursos (Wang et al., 2021).

La Torre Atrio está sujeta a un mantenimiento sistemático, que incluye inspecciones periódicas. Acciones como la limpieza fotográfica de los recolectores de agua, tuberías y la limpieza de todo el sistema de drenaje son proactivas para prolongar la existencia y eficiencia del sistema y, en última instancia, reducir el costo de operación debido al cuidado asegurado y al bajo gasto en mantenimiento a largo plazo (Pomponi & Moncaster, 2017).

Por el contrario, las construcciones históricas, la falta de un diseño de mantenimiento adecuado puede derivar en la rotura de tuberías y fugas, aumentando el desperdicio del agua. La falta de intervención a intervalos regulares pone en compromiso la sostenibilidad y la eficiencia del sistema hídrico (Zuo & Zhao, 2019).

Los avances en la optimización de la red de Torre Atrio ayudan significativamente a reducir las ineficiencias causadas por fugas y mejoran la eficiencia del sistema. El uso de tecnologías y materiales de alta gama minimiza el desperdicio, mejora la utilización del agua y su distribución en todo el edificio (Gibberd, 2015).

Al igual que otros tipos de construcción, la construcción tradicional sufre pérdidas de agua debido a fugas y otros problemas de infraestructura. Un mantenimiento deficiente junto con la ausencia de sistemas de detección de fugas disminuye en gran medida la eficiencia hidráulica del sistema, aumentando el desperdicio y los costos operativos (Wang et al., 2021).

Una comparación analítica que involucra Torre Atrio y edificios tradicionales destacó la necesidad de idear estrategias proactivas para gestionar el uso sostenible del agua. La combinación de tecnologías de ingeniería avanzadas con elementos de diseño eficientes tiene la capacidad de conservar agua y reducir el daño ambiental. Desafortunadamente, las políticas insuficientes y la resistencia al cambio en la industria de la construcción siguen siendo barreras para la adopción generalizada de estas prácticas sostenibles en edificios convencionales (Sharma et al., 2020).

3.3 Resultados Comparativos

Un análisis comparativo revela las diferencias clave entre edificios sostenibles y convencionales en lo que respecta a sus efectos ambientales, utilización de recursos y sostenibilidad económica a largo plazo. En este caso, para edificios sostenibles como Torre Atrio

en Bogotá, hay una reducción sustancial en la huella de carbono debido al impacto ambiental de los materiales utilizados, medidas de eficiencia energética y sistemas avanzados de gestión del agua empleados. De esta manera, tales diseños de construcción incluyen tecnologías que mejoran la eficiencia en la utilización de recursos naturales, reduciendo la presión sobre los ecosistemas urbanos y contribuyendo a la mitigación del cambio climático (Torre Atrio, 2022).

Por el contrario, los edificios tradicionales siguen empleando formas de construcción tradicionales que requieren un alto gasto de materiales y tienen un gran impacto en el medioambiente. Al utilizar hormigón ordinario, acero altamente contaminante por CO_2 y cristales carentes de control térmico, se incrementa el desperdicio de recursos y el uso de energía, lo que ahonda más en la eficiencia energética y la creación de residuos. Por lo tanto, estos edificios subordinados a los servicios públicos consumen mayor cantidad de electricidad y agua, lo cual afecta la economía del inmueble y amplía la huella ecológica durante un periodo de tiempo más extenso (Pomponi & Moncaster, 2017).

Un ejemplo de una comparación que enfatiza la gestión del agua es el uso de sistemas de ahorro de agua en edificios convencionales y modernos. En el caso de construcciones modernas, se incorporan sistemas avanzados para captar y reutilizar aguas pluviales, junto con tecnologías de ahorro de agua en inodoros y grifos. Estas tecnologías han hecho posible conservar y disminuir el nivel de suministro de agua dulce a la infraestructura hídrica urbana. Por otro lado, los edificios convencionales no incorporan ninguna estrategia de ahorro de recursos, es decir, dependen únicamente del suministro de la red pública. Esto lleva a que el consumo de agua en estos edificios sea mucho mayor, lo que añade presión a los ecosistemas acuáticos y puede

provocar problemas como la escasez de agua en áreas urbanas densamente pobladas (USGBC, 2021).

Con respecto a la eficiencia energética, los edificios sostenibles incorporan el uso de luces LED, paneles solares y sistemas de ventilación natural, lo que mitiga el consumo de energía por fuentes no renovables. Un ejemplo claro es la Torre Atrio, que ha incorporado cortinas de vidrios de control térmico, mejorando la eficiencia del aire acondicionado y calefacción, por lo tanto, reduciendo el consumo energético.

En cambio, las construcciones convencionales no suelen presentar un diseño bioclimático óptimo y dependen más de la climatización artificial, lo que incrementa la demanda energética y, en consecuencia, el gasto operacional. Este incremento en el consumo de energía de estos edificios se debe principalmente a la carencia de aislamiento térmico y el uso de materiales con baja eficiencia (Cabeza et al., 2020).

Aunque la inversión inicial en edificaciones sostenibles es mayor por la implementación de tecnologías avanzadas y la utilización de materiales ecológicos certificados, desde el punto de vista económico, los costos operativos a largo plazo son menores. Adicionalmente, la mejora en el uso de agua y energía, así como los materiales empleados, han optimizado los gastos de mantenimiento y la longevidad de la infraestructura.

En consecuencia, esta disminución de gastos en el mantenimiento y operación del edificio resulta ventajosa para los propietarios y para el urbanismo moderno que incorpora la

sostenibilidad como elemento central. De esta forma, en mercados inmobiliarios competitivos, las edificaciones sostenibles también se destacan por poseer un mayor valor apreciativo y proveer un rendimiento financiero superior en relación a la inversión hecha (Pomponi & Moncaster, 2017).

Un aspecto importante de comparación involucra la gestión de residuos de construcción y demolición. En este sentido, para edificios sostenibles, como la Torre Atrio, se fomenta el uso de materiales reciclados y procesos que minimicen los residuos de construcción. Además, hay un esfuerzo activo en la campaña para conservar recursos a través de la reducción de materiales y su reutilización en el proyecto.

Por el contrario, en los edificios convencionales, a menudo hay una falta de políticas de gestión de residuos para captar y segregar materiales útiles, por lo que la cantidad de residuos suele ser mucho mayor, lo cual inaceptablemente aumenta los vertederos en áreas urbanas y contribuye a la degradación ambiental (Sharma et al., 2020).

Integrar infraestructura verde en edificios sostenibles mejora el bienestar urbano. Además de mejorar la calidad del aire y mitigar el efecto de isla de calor urbano, los techos verdes y los jardines verticales también aumentan el valor estético y funcional. Sin embargo, tales características a menudo están ausentes o se encuentran raramente en edificios tradicionales, lo que disminuye su potencial contribución hacia la sostenibilidad urbana y la calidad de vida de los residentes (Gibberd, 2015).

En resumen, los resultados comparativos indican que un cambio hacia edificios sostenibles es económicamente beneficioso y operativamente eficiente, además de ser una estrategia ambiental. La construcción sostenible, a pesar de presentar algunas dificultades al inicio, se convierte en un requisito previo y una solución rentable debido a la reducción del consumo de recursos, la mitigación de emisiones y la optimización de costos a lo largo del tiempo. Por lo tanto, para promover este cambio en Colombia, es necesario avanzar en la regulación sobre construcción sostenible y crear incentivos financieros y fiscales que fomenten su adopción en la industria. Esto conducirá a un desarrollo urbano más resilientes, eficiente y respetuoso con el medio ambiente (Zuo & Zhao, 2019).

Tabla 13

Comparación de Indicadores entre Edificación Sostenible (Torre Atrio) y Convencional

Indicador	Edificación Sostenible (Torre Atrio)	Edificación Convencional
Reducción de consumo hídrico	40%	0%
Ahorro energético	30%	0%
Costo inicial	Alto	Medio
Costo de operación/mantenimiento	Bajo	Alto
Huella de carbono	Reducida	Alta
Uso de energías renovables	Sí (solar, eólica)	No
Durabilidad de materiales	Alta	Media
Gestión de residuos de construcción	Reciclaje y minimización	Desperdicio sin control
Confort térmico	Óptimo (diseño bioclimático)	Deficiente
Emisiones de CO_2 operacionales	Bajas	Elevadas
Retorno de inversión (ROI)	Medio-largo plazo	No aplicable

Fuente: (Construcción propia, 2025) con datos de Torre Atrio (2022) y Normativa LEED.

Evaluar los KPI en sostenibilidad y en sostenibilidad en comparación con el resto de edificaciones nos permite tener una visión más imparcial de los pros y los contras de cada método constructivo. En este contexto, la Torre Atrio, ergida como modelo de construcción sostenible en Bogotá, presenta características de limitación y conservación de recursos, y, por lo tanto, reduce el impacto ambiental. Así como la comparación de estos indicadores muestra, no solo hay diferencias significativas en el desempeño entre los dos tipos de edificaciones, sino también en su impacto ambiental, económico y administrativo en un horizonte de tiempo sostenido (Torre Atrio, 2022).

Uno de los aspectos más llamativos en esta comparación es la disminución del gasto hídrico. En este sentido, la Torre Atrio cuenta con un sistema moderno que facilita la captación de aguas lluvias (CAL) y la reutilización de aguas grises (RAG). De hecho, esta autonomía en la captación de agua, en comparación con los edificios convencionales que no llevan a cabo estrategias para controlar el gasto de agua y dependen del servicio de agua pública, permite la disminución de cerca del 40% en el gasto de agua (USGBC, 2021).

La construcción sostenible incorpora tecnologías como la iluminación LED, fachadas con vidrios de control térmico, ventilación natural y paneles solares, lo que permite un ahorro de energía de hasta un 30%. En contraste, la construcción convencional depende casi exclusivamente de combustibles fósiles y no emplea ninguna estrategia de eficiencia energética, lo que a su vez incrementa su consumo y eleva sus gastos operativos (Cabeza et al., 2020).

Por lo tanto, la construcción convencional tiene un impacto ambiental considerablemente más alto en términos de emisiones de CO_2 y dependencia de energía.

El gasto preliminar es una de las razones más convincentes para tomar una decisión en relación con la construcción de un edificio sostenible. Generalmente, la inversión para la construcción de tal edificio es mayor que la de un edificio convencional, porque se incluyen tecnologías sofisticadas, materiales ecológicos certificados y sistemas de eficiencia energética y de agua. Sin embargo, el costo inicial relativamente alto se compensa con costos operativos y de mantenimiento mucho más bajos, lo que se traduce en mayores ahorros a lo largo del tiempo.

En comparación con un edificio ordinario que gasta mucho en términos de gasto de recursos y uso ineficiente y reparaciones frecuentes, la Torre Atrio ha sido diseñada con estrategias de eficiencia para la reducción de costos y materiales duraderos para disminuir los gastos operativos y de mantenimiento (Pomponi & Moncaster, 2017).

Una de las ventajas más relevantes a tener en cuenta es la huella de carbono, que, en el caso de las construcciones sostenibles, resulta ser significativamente más baja. Esto se debe a la optimización de materiales, el empleo de fuentes de energías renovables, además de la disminución en el consumo de agua y energía. Por lo tanto, la reducción en las emisiones de CO2 operativas de la Torre Atrio la posiciona como un caso de rubro sostenible y responsable con el medio ambiente. A diferencia de la construcción tradicional, los edificios convencionales son considerados de alta huella de carbono debido al uso de impactantes materiales como el hormigón convencional y acero no certificados bajos en carbono (Sharma et al., 2020).

El uso de recursos renovables es una de las muchas características que diferencian los dos tipos de construcciones. En el caso de Torre Atrio, cuenta con paneles solares y sistemas de captura de energía eólica, lo que aumenta su eficiencia energética y reduce su dependencia de la red eléctrica. En contraste, los edificios convencionales no utilizan recursos renovables y, por lo tanto, son más vulnerables a las fluctuaciones en los precios de la electricidad y a la disponibilidad de recursos energéticos sostenibles (Zuo & Zhao, 2019).

Los materiales que constituyen la Torre Atrio tienen una durabilidad, en relación con un edificio convencional, significativamente mayor. La obra en cuestión incorpora materiales certificados reciclados de alta resistencia, lo que no solo aumenta la vida útil de la edificación, sino que también disminuye los costos de mantenimiento. Por el contrario, en los edificios tradicionales se utilizan materiales de menor durabilidad ambientalmente que, dentro del ciclo de vida de un inmueble, redundan en mayor gasto debido a la necesidad de constantes reparaciones y reemplazos (Gibberd, 2015).

Como parte de la ejecución de la obra de construcción de la Torre Atrio, se han emprendido programas de reciclaje, así como estrategias de reducción de desperdicio que abarcan tanto la operación de la torre como su construcción. Esto ayuda a disminuir el monto de escombros generados y el aprovechamiento de los materiales dentro del proceso de construcción. Por el contrario, en una construcción convencional, la gestión de residuos de planificación lleva a un desperdicio descontrolado de materiales junto con un mayor impacto ambiental (Pomponi & Moncaster, 2017).

El confort térmico es uno de los aspectos más relevantes en esta comparación. Con un diseño bioclimático optimizado, la Torre Atrio consigue mantener unas temperaturas internas más estables, disminuyendo el consumo de climatización artificial y mejorando el confort de sus ocupantes. Por el contrario, una edificación convencional presenta fisuras en el aislamiento térmico, sumado a la deficiente cualidad del diseño arquitectónico, lo que deriva en un mayor gasto energético para la climatización y una climatología ambiental interior de escasa calidad (Cabeza et al., 2020).

Las emisiones de CO_2 en las operaciones de edificaciones sostenibles son considerablemente más bajas gracias a su eficiencia energética y al uso de fuentes renovables. En contraste, las edificaciones convencionales, al carecer de eficiencia en el consumo energético y depender de combustibles fósiles, generan altas emisiones que contribuyen al calentamiento global y al deterioro del medio ambiente urbano (Sharma et al., 2020).

El retorno de inversión (ROI) en edificaciones sostenibles se manifiesta en un plazo medio-largo, dado que la disminución de costos operativos y de mantenimiento compensa la alta inversión inicial. En el caso de una edificación convencional, el ROI no se aplica de la misma manera, ya que los costos de operación y mantenimiento tienden a aumentar con el tiempo sin proporcionar beneficios financieros adicionales (USGBC, 2021).

El análisis de estos indicadores permite determinar que la construcción sostenible es una opción práctica y sensible al medio ambiente en comparación con la convencional. Si bien los costos iniciales pueden ser más altos, los ahorros en consumo de agua y energía, así como en

emisiones de CO_2, gastos de mantenimiento y una gestión mejorada de los activos, aumentan la rentabilidad a largo plazo. De esta manera, la mayor viabilidad de estas construcciones se sustenta además por la adopción de energías renovables, el uso de materiales duraderos y estrategias integrales de gestión de residuos. Por lo tanto, fomentar el uso de prácticas de construcción ecológicas a través de políticas e incentivos será esencial en el desarrollo de ciudades resilientes más sostenibles y responsables con el medio ambiente (Zuo & Zhao, 2019).

3.3.1 Resumen de Hallazgos

Este análisis comparativo entre edificios sostenibles y tradicionales ha destacado las mejores prácticas de construcción en términos de uso de materiales, gestión del agua, eficiencia energética, mitigación de la huella de carbono y rentabilidad general. De manera particular, los estudios de caso, como la Torre Atrio en Bogotá, junto con los marcos de sostenibilidad analizados, demuestran que las prácticas de construcción respetuosas con el medio ambiente no solo reducen los impactos ambientales, sino que también proporcionan valor financiero y operativo a lo largo del tiempo (González & Ramírez, 2020).

3.3.1.1 Uso de Materiales. El sostenimiento de un edificio requiere poner atención en los materiales de construcción. Particularmente en los edificios sostenibles, existe la tendencia de priorizar el uso de recursos con mayores costos ambientales, tales como: el concreto reciclado, la madera de bosques certificados, o algunos aislantes térmicos renovables. Estos materiales pueden contribuir a mitigar la falta de recursos naturales primarios, así como la dependencia de

material en estima y supresión del óxido de carbono acusada por producción y transporte (Martínez et al., 2019).

El reciclaje de concreto en proyectos de construcción como Torre Atrio es otra estrategia que ayuda a disminuir el consumo de agregados naturales y los residuos de construcción y demolición (RCD) generados, mientras se mantiene la integridad estructural del proyecto (López & Fernández, 2021).

Además, el empleo de madera certificada por el Consejo de Manejo Forestal (FSC) asegura que proviene de fuentes responsables, ayudando así en la protección de los ecosistemas forestales (FSC, 2022).

Por otro lado, las construcciones tradicionales todavía utilizan materiales que son perjudiciales para el medio ambiente, como el concreto estándar, así como madera no certificada. En consecuencia, estos materiales pasan por procesos de extracción y fabricación que son altamente intensivos en energía y recursos, aumentando significativamente su huella de carbono (Pérez & Salazar, 2018).

A su vez, comúnmente se incluye el uso de revestimientos y pinturas que poseen COV y que deterioran la calidad del aire interior y pueden ser dañinos para la salud (Rodríguez et al., 2020).

A pesar de que los materiales sostenibles ofrecen beneficios claros, su uso se ve obstaculizado por desafíos relacionados con los costos de producción, la disponibilidad en el

mercado y la aceptación en las regulaciones de construcción. Por lo tanto, es necesario desarrollar políticas de incentivos y programas de certificación que reduzcan los costos asociados con materiales ecológicos e incorporen un mayor apoyo en la planificación urbana (Gómez, 2021).

3.3.1.2 Gestión del Agua. La disponibilidad y el uso eficiente del agua son relevantes para la construcción moderna. En este contexto, la construcción sostenible ha ideado métodos para la recolección, captura y optimización del consumo de agua dentro de las infraestructuras, lo que alivia la presión sobre los acuíferos y las fuentes de agua potable, así como reduce los impactos de los ciclos hidráulicos de los climas urbanizados en el medio ambiente (Torres et al., 2021).

Un claro ejemplo de esto es la recolección y reutilización del agua de lluvia, una estrategia que se ha puesto en práctica en Torre Atrio y que emplea sistemas de almacenamiento y filtración. De hecho, esta tecnología tiene el potencial de ahorrar agua potable hasta en un 40% porque se puede utilizar para fines no potables como el riego y el lavado de inodoros (Atrio, 2022; Gutiérrez & Rojas, 2020).

Asimismo, la colocación de inodoros y grifos de bajo flujo también mejora la eficiencia en el uso y consumo de agua dentro del edificio. En consecuencia, la economía de estos aparatos en relación con el agua utilizada puede llegar hasta el 50 por ciento en comparación con los sistemas tradicionales. No solo esto ayuda a disminuir el gasto operacional, sino que también reduce la cantidad de aguas residuales que necesitan un tratamiento secundario (Rivas, 2019).

Por otro lado, las construcciones tradicionales dependen únicamente del suministro municipal sin implementar estrategias para optimizar el recurso. Esto provoca, a su vez, un uso ineficiente del agua y un mayor impacto ambiental debido al agotamiento de las fuentes hídricas y al aumento de los costos de abastecimiento (Fernández & Molina, 2020).

Finalmente, la ausencia de regulaciones rigurosas sobre el uso eficiente del agua en construcciones convencionales es una de las principales dificultades para la implementación de tecnologías sostenibles en el ámbito de la construcción.

3.3.1.3 Costos y Rentabilidad. Un problema fundamental de un análisis comparativo es la rentabilidad a largo plazo de la construcción sostenible. Aunque el gasto inicial en estos proyectos suele ser más alto debido a la inclusión de materiales certificados, tecnologías energéticamente eficientes y sistemas de gestión del agua, se ha demostrado que estos costos se compensan con los ahorros operativos a lo largo de la vida del activo (Navarro et al., 2021).

En consecuencia, debido al mantenimiento rentable y a la reducción del consumo de energía, agua, generación de residuos y la eficiencia general de sus sistemas, un edificio sostenible tendrá menores gastos operativos en comparación con un edificio tradicional (Pérez & Herrera, 2020).

Por otro lado, con la construcción convencional, aunque el costo de capital inicial es más bajo, el costo operativo tiende a ser más alto debido al consumo excesivo de recursos, así como a la necesidad de un mantenimiento frecuente (Fernández, 2019).

Finalmente, para promover la adopción de edificios verdes, es importante formular opciones de financiamiento accesibles y desarrollar políticas de incentivos que mitiguen la barrera de inversión. Por ejemplo, el uso de subsidios, préstamos concesionales e incentivos fiscales podría ayudar en la transición a un modelo de construcción más eficiente en términos climáticos y resilientes al clima (González & Suárez, 2022).

3.3.1.4 Eficiencia Energética y Huella de Carbono. En cuanto a reducir los efectos negativos de un edificio en el medio ambiente, la eficiencia energética juega un papel determinante. De hecho, para la Torre Atrio, el consumo energético se reduce un 30% respecto a edificios tradicionales, gracias a la instalación de paneles solares, el uso de iluminación LED y la incorporación de sistemas de ventilación natural (USGBC, 2021).

Asimismo, estas estrategias permiten menos el uso de fuentes de energía no renovables y reducen el gasto operativo de emisiones CO_2, Cabeza et al., (2020). Por el contrario, el consumismo exacerbado en edificios convencionales sin la inclusión de políticas de energía eficiente resulta en un incremento en el uso de la electricidad por la sobredependencia de la iluminación artificial, unidades de aire acondicionado de alto consumo y mal diseño biomecánico del espacio. Esto provoca que el edificio en cuestión incremente su demanda energética, su huella de carbono y gasto operativo; además, encarece la rentabilidad para el dueño del edificio (Pérez y Herrera, 2020).

Realizar un análisis comparativo revela que las estructuras sostenibles ofrecen una ventaja clara en la optimización del consumo de energía, la reducción de los impactos

ambientales y el ahorro en costos operativos. Sin embargo, su adopción sigue siendo considerablemente obstaculizada por factores como: financiamiento disponible insuficiente, altos costos iniciales, falta de materiales sostenibles y ausencia de incentivos regulatorios (Torres & Martínez, 2022).

Por lo tanto, para hacer posible la adopción generalizada, es crucial mejorar las políticas a nivel gubernamental, patrocinar el desarrollo de nuevas tecnologías y concienciar a arquitectos, ingenieros y desarrolladores sobre la importancia de aplicar los principios de sostenibilidad en el diseño de edificios. En resumen, la construcción sostenible no solo aborda de manera efectiva los problemas que plantea el entorno actual, sino que también contrarresta proactivamente la planificación de un desarrollo urbano económicamente y socialmente responsable (Gómez, 2021).

4. Conclusiones

El análisis bibliométrico realizado revela una frecuencia creciente de producción científica relacionada con la industria de la construcción, destacando la eficiencia energética, la gestión del agua y la mitigación del impacto como las principales áreas de enfoque. Junto con la concienciación global por prácticas más sostenibles en relación con la construcción, la cantidad de publicaciones científicas también ha aumentado significativamente en los últimos años. Esta es una respuesta al interés y la cooperación global para resolver problemas ambientales con métodos de construcción innovadores. Por lo tanto, se puede decir que el creciente interés en la construcción sostenible desde la perspectiva académica probablemente conducirá a una mayor aceptación de estas prácticas en la industria.

Los resultados del análisis bibliométrico que se ha realizado indican, de una forma mucho más sencilla, que la sostenibilidad dentro de la construcción, a nivel de la práctica, y particularmente, en el caso de la energía y la gestión del agua, está recibiendo mucha más atención como un área prioritaria dentro del marco de la investigación científica. El impresionante surgimiento de la colaboración internacional junto con el incremento de la productividad científica en los últimos años sugiere que se están diseñando e instrumentando maneras sostenibles de realizar construcción en el neo gradiente hacia disminuir la huella de carbono y mejorar el aprovechamiento de los recursos, y por el contrario, la inercia sin frontera de financiamiento y fondos, así como la escasez de materiales ecológicos, presenta estos formidables no resueltos desafíos que necesitan ser superados, para en un futuro previsible, adoptar estos enfoques sostenibles en la construcción de manera generalizada.

La evaluación de la sostenibilidad en la construcción, utilizando la Torre Atrio y otros edificios convencionales como ejemplos, se refiere a los componentes de los materiales utilizados, la eficiencia energética y la gestión del agua dentro del edificio, como preocupaciones vitales. De hecho, la Torre Atrio es un claro testigo de cómo las estrategias sostenibles, en gran medida, mitigan el impacto ambiental, al tiempo que proporcionan eficiencia operativa y valor a lo largo del tiempo. Por lo tanto, en la educación superior, se pone énfasis en el diseño e instalación de tecnologías sostenibles, como la implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia y sistemas de energía avanzados, ya que son centrales para la construcción del mañana.

Los edificios convencionales continúan exhibiendo deficiencias en sostenibilidad principalmente debido a la gestión ineficiente de recursos y al uso negligente de tecnologías limpias. Así, aunque la construcción tradicional tiene un costo inicial comparativamente más bajo, plantea un mayor impacto ambiental, así como mayores costos operativos y consumo de recursos a lo largo del tiempo. Por lo tanto, para avanzar en el desarrollo urbano sostenible, las políticas y regulaciones deben centrarse en fomentar la adopción de prácticas de construcción ecológica y económicamente responsables para mejorar el medio ambiente junto con la economía.

El análisis comparativo de construcciones certificadas y no registradas muestra una marcada diferencia en sostenibilidad, eficiencia energética y gestión de recursos. En primer lugar, los edificios certificados siempre se someten a regulaciones controladas respecto al uso de agua y energía; por lo tanto, los materiales utilizados en la construcción del edificio, así como en

su operación posterior, son propensos a reducir el impacto de los gastos de construcción y operación. En contraste con esto, los edificios no certificados carecen de gran parte de esta regulación, lo que lleva a un uso ineficiente de los recursos y, posteriormente, a un aumento del impacto ambiental. Por lo tanto, es primordial que la política pública fomente la sostenibilidad en la construcción, especialmente en lo que respecta a los edificios tradicionales.

Al promover la eficiencia energética, la administración del agua, y el uso de materiales ecológicos, edificaciones sostenibles han empezado a clasificar sus edificios con las certificaciones LEED, EDGE y BREEAM. No obstante, la falta de adopción de sus regulaciones en edificios no certificados sigue siendo un problema de gran preocupación. En ese sentido, para lograr un cambio hacia prácticas más sostenibles, así como también generar un impacto positivo en la calidad ambiental urbana y la salud pública, es urgente que se implementen políticas más rigurosas sobre construcción convencional.

El estudio sobre materiales de construcción sostenible destaca la selección de aquellos que tienen el menor impacto en el medio ambiente. En este sentido, las construcciones certificadas intentan utilizar mayores proporciones de materiales reciclados, lo que utiliza considerablemente menos energía, contribuyendo a mitigar la huella de carbono sustancialmente. Por otro lado, los edificios no certificados aún utilizan materiales ortodoxos como el Portland y el acero, cuyos factores de energía y emisión de CO_2 son escandalosos. Desde este punto de vista, es obligatorio promover políticas que fomenten la limitación de los materiales y los métodos de construcción convencionales, avanzando en cambio en la investigación y construcción de nuevos materiales menos dañinos.

Los edificios sostenibles están muy influenciados por innovaciones modernas. Por ejemplo, los sistemas integrados de energía renovable, así como el uso de ventilación natural y superficies térmicamente aislantes, son grandes contribuyentes a mejorar la eficiencia energética y el impacto ambiental de los edificios sostenibles. Por otro lado, los edificios tradicionales desprovistos de estas innovaciones continúan utilizando métodos de construcción anticuados e ineficientes que aumentan el consumo de recursos. Por lo tanto, para reducir la huella ambiental y mejorar la sostenibilidad de la construcción convencional, se necesita adoptar mayores tecnologías.

La comparativa entre la Torre Atrio y un edificio convencional demuestra que los edificios sostenibles, como la Torre Atrio, poseen un impacto ambiental de integración de materiales reciclados, sistemas de gestión del agua y eficiencia energética eólica que tratamos sobre piso de vuelo, vidrio, calefacción y refrigeración en paralelo. Si bien el gasto operacional a corto plazo es muy elevado durante el ciclo de vida del edificio, la inversión inicial de capital recuperado es, a medio y largo plazo, ventajoso. En este sentido, la construcción sustentable no solo reduce el impacto ambiental, sino que también es económicamente beneficiosa en un horizonte temporal prolongado.

Este análisis de caso examina la sustentabilidad en la Torre Atrio, su uso de energías renovables, sistemas para recuperar agua y la eficiencia en el uso de recursos, configurándola como un modelo a seguir en el contexto colombiano. Por su parte, los edificios convencionales, en ausencia de tales estrategias, siguen generando un elevado costo operativo y un impacto ambiental considerable. Todo cambio como el mencionado requiere de una reestructuración e

impulso a políticas públicas orientadas a fomentar el uso de tecnologías sostenibles y ecoamigables en la construcción.

Referencias

Aria, M., y Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: una herramienta R para el análisis integral de mapas científicos. Journal of Informetrics, 11(4), 959-975. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157717300500?via%3Dihub#preview-section-references

Atrio. (s.f.). Sostenibilidad. https://www.atrio.com.co/sostenibilidad

Beck, T., Quigley, M. y Carpenter, D. (2018). Paisajismo sostenible: estrategias para una vegetación urbana que haga un uso eficiente del agua. Journal of Environmental Management, 224, 192-203. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479718307709?via%3Dihub

Bossa-Benavidez, J., David Meza, J., Ramos-Franco, D., & Cohen-Padilla, H. (2023). La sostenibilidad en Colombia frente al desarrollo sostenible en el mundo. Una revisión bibliométrica para el análisis del entorno. Revista Universidad y Empresa, 25(44), 1-29. https://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/view/12770

Cabeza et al., 2020: Cabeza, L., Rincón, L., & Vilariño, V. (2020). Construcción sostenible en Colombia: Aproximaciones, indicadores y estrategias. Recuperado de https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/017717cb-6a42-499d-a592-502be820b4b9/content?utm_source=chatgpt.com

Campisano, A., & Modica, C. (2016). Dimensionamiento óptimo de tanques de almacenamiento para sistemas domésticos de recolección de agua de lluvia en áreas mediterráneas. Water Resources Management, 30(5), 1479-1492.

https://www.researchgate.net/publication/235982214_Optimal_sizing_of_storage_tanks_for_domestic_rainwater_harvesting_in_Sicily

Chen, C., Song, I. Y., y Yuan, X. (2021). Visualización de un campo de investigación: una metodología de revisiones cienciométricas sistemáticas. Revista de la Asociación de Ciencia y Tecnología de la Información, 72(9), 1185-1202. https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asi.24445

Chung, C. Y., Leung, S. C. y Sum, K. (2018). Gestión inteligente del agua en edificios mediante tecnología IoT. Sustainable Cities and Society, 40, 283-292. https://ideas.repec.org/JEL/L83.html

Delta Arquitectura Digital. (2022). Cómo ha avanzado el megaproyecto de las Torres Atrio en Bogotá. Recuperado de https://www.deltaarquitecturadigital.com/como-ha-avanzado-el-megaproyecto-de-las-torres-atrio-en-bogota/?utm_source=chatgpt.com

Delta Arquitectura Digital. (2023). Cómo ha avanzado el megaproyecto de las Torres Atrio en Bogotá. https://www.deltaarquitecturadigital.com/como-ha-avanzado-el-megaproyecto-de-las-torres-atrio-en-bogota/?utm_source=chatgpt.com

Domènech, L., & Saurí, D. (2010). Una evaluación comparativa del uso de la recogida de agua de lluvia en edificios unifamiliares y plurifamiliares del área metropolitana de Barcelona (España): Experiencia social, ahorro de agua potable y costes económicos. Journal of Cleaner Production, 18(6), 581-589. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652610004440

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N. y Lim, W. M. (2021). Cómo realizar un análisis bibliométrico: descripción general y pautas. Journal of Business Research,

133,285-296. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296321003155?via%3Dihub

El País. (2024). Nayib Neme: hacer empresa para continuar el legado familiar de construir país. https://elpais.com/america-colombia/branded/los-lideres-de-colombia/2024-12-05/nayib-neme-hacer-empresa-para-continuar-el-legado-familiar-de-construir-pais.html?utm_source=chatgpt.com

Elsevier. (2021). Scopus: Guía de cobertura de contenido. https://www.elsevier.com/solutions/scopus

Fernández, 2019: Fernández, A. (2019). Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco institucional vigente. Recuperado de https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-79132018000300019&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com

Fernández, C., & Molina, G. (2020). Revisión comparada de la normativa de construcción sostenible en Colombia y países del entorno. Recuperado de https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/8ca90592-42fa-44d3-94af-7838d1a91b0c/content?utm_source=chatgpt.com

Fonseca García, O. J., & Ramírez Agudelo, J. P. (2023). Proceso de selección de criterios y metodologías para la construcción de edificaciones sostenibles en Colombia. Noesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanas, 12(24), 45-60. https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/f4b7dce5-ad89-41e8-8fa9-f8cb6d585ad3/content

Forest Stewardship Council (FSC), 2022: Forest Stewardship Council. (2022). ¿Qué es FSC? https://fsc.org/sites/default/files/2023-09/FSC%20Annual%20Report%202022%20-%20English.pdf

GhaffarianHoseini, A., Dahlan, N. D., Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., y Makaremi, N. (2019). Diseño de edificios sustentables: una revisión de los desarrollos recientes y las perspectivas futuras. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 71, 432-442. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116310863?via%3Dihub

GhaffarianHoseini, A., Tookey, J., GhaffarianHoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., & Raahemifar, K. (2019). La esencia de las futuras casas inteligentes: desde la incorporación de las TIC hasta la adaptación a los principios de sostenibilidad. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91, 312-341. https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v75y2017icp1046-1053.html

Ghisellini, P., Ripa, M. y Ulgiati, S. (2020). Exploración de los costos y beneficios ambientales y económicos de los enfoques de economía circular para el sector de la construcción y la demolición: una revisión de la literatura. Journal of Cleaner Production, 248, 119221. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619340910?via%3Dihub

Gibberd, J. (2015). Sostenibilidad de los edificios: evaluación del desempeño y diseño. Routledge. https://www.routledge.com/Building-Sustainability-Performance-Evaluation-and-Design/Gibberd/p/book/9780415527366

Gleick, P. H. (2018). El volumen 9 del agua en el mundo: Informe bienal sobre los recursos de agua dulce. Island Press. https://www.worldwater.org/a876kjsdfb765/World%20Water%20Volume%209.pdf

Gómez, C. (2021). Construcción sostenible en Bogotá, de ideal normativo a estándar constructivo. https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/e26a14a1-05a0-448f-8e34-64d0ae23f6a8/content

González, J., & Ramírez, L. (2020). Análisis de las edificaciones sustentables como la mejor alternativa para la construcción en Colombia. https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/a458d7a1-0116-49c9-88dd-3bdb4ad9b1b3/content

González, P., & Suárez, L. (2022). Construcción sostenible en Colombia: Aproximaciones, indicadores y estrategias. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/017717cb-6a42-499d-a592-502be820b4b9/content?utm_source=chatgpt.com

Green Building Council. (2021). LEED rating system. https://thegbi.org/greenglobes/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAiaC-BhBEEiwAjY99qOr6aLhHxYIiVWoAEd5sA6hsZHqe5xMo0SxF1Cjj36NtG8PXrZ31SBoC6hwQAvD_BwE

Gutiérrez & Rojas, 2020: Gutiérrez, H., & Rojas, E. (2020). Análisis de las edificaciones sustentables como la mejor alternativa para la construcción en Colombia. Recuperado de https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/a458d7a1-0116-49c9-88dd-3bdb4ad9b1b3/content

Kylili, A., Fokaides, P. A., y Jiménez, P. A. (2016). Indicadores clave de desempeño para ciudades inteligentes y sostenibles. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 386-398.https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v56y2016icp906-915.html

Lautze, J., da Silva, A. K., Giordano, M., & Sanford, L. (2014). Reutilización del agua en el contexto de la escasez de agua: un análisis institucional. Política del agua, 16(1), 72-95. https://cgspace.cgiar.org/items/59968b4c-d049-4d50-b79b-d21cc805a513

Li, B., Zhang, Y., y Zhou, J. (2022). Tendencias en la investigación sobre construcción sostenible: un análisis bibliométrico basado en Scopus Sustainability, 14(7), 3852. https://www.mdpi.com/2071-1050/14/7/3852

López, M., & Fernández, D. (2021). Revisión comparada de la normativa de construcción sostenible en Colombia y países del entorno. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/8ca90592-42fa-44d3-94af-7838d1a91b0c/content?utm_source=chatgpt.com

Martínez, P., Gómez, R., & Torres, S. (2019). Implementación de materiales y técnicas alternativas para la construcción de edificaciones sostenibles en Colombia. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2cffa39d-e985-4ffb-8ac9-ea0927d1cdb0/content?utm_source=chatgpt.com

Navarro et al., 2021: Navarro, C., Ruiz, F., & Peña, D. (2021). Implementación de materiales y técnicas alternativas para la construcción de edificaciones sostenibles en Colombia. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2cffa39d-e985-4ffb-8ac9-ea0927d1cdb0/content?utm_source=chatgpt.com

Noticias y Respuestas. (2023). Torre Atrio demuestra los resultados de ser un edificio sostenible en Bogotá. https://noticiasyrespuestas.com/2023/11/06/torre-atrio-demuestra-los-resultados-de-ser-un-edificio-sostenible-en-bogota/?utm_source=chatgpt.com

Pérez & Salazar, 2018: Pérez, A., & Salazar, J. (2018). Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco institucional vigente.

https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-79132018000300019&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com

Pérez, J., & Herrera, M. (2020). Construcción sostenible en Bogotá, de ideal normativo a estándar constructivo. https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/e26a14a1-05a0-448f-8e34-64d0ae23f6a8/content

Pomponi, F., y Moncaster, A. (2017). Mitigación y reducción del carbono incorporado en el entorno construido: ¿qué dice la evidencia? Journal of Environmental Management, 181, 687-700. https://www.napier.ac.uk/~/media/worktribe/output-680910/embodied-carbon-mitigation-and-reduction-in-the-built-environment--what-does-the-evidence.pdf

R Core Team. (2021). R: Un lenguaje y entorno para la computación estadística. Fundación R para la computación estadística. https://www.r-project.org/

Revista C-Level. (2023). Torre Atrio: la más sostenible en América Latina. https://revistaclevel.com/torre-atrio-la-mas-sostenible-en-america-latina?utm_source=chatgpt.com

Rivas, P. (2019). Implementación de materiales y técnicas alternativas para la construcción de edificaciones sostenibles en Colombia. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2cffa39d-e985-4ffb-8ac9-ea0927d1cdb0/content?utm_source=chatgpt.com

Rodríguez, L., Martínez, F., & Gómez, P. (2020). Construcción sostenible en Colombia: Aproximaciones, indicadores y estrategias. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/017717cb-6a42-499d-a592-502be820b4b9/content?utm_source=chatgpt.com

Rogers Stirk Harbour + Partners. (s.f.). Atrio Bogotá. https://es.wikipedia.org/wiki/Torres_Atrio?utm_source=chatgpt.com

RStudio Team. (2021). RStudio: Entorno de desarrollo integrado para R. RStudio, PBC.https://www.r-project.org/conferences/useR-2011/abstracts/180111-allairejj.pdf

Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M. y Shree, V. (2020). Evaluación del ciclo de vida de los edificios: una revisión. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 871-875. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110002947?via%3Dihub

Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M., Shree, V. y Varun. (2020). Evaluación del ciclo de vida de los edificios: una revisión. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 871-875. https://www.researchgate.net/publication/227421373_Life_cycle_assessment_of_buildings_A_review

Torre Atrio. (2022). Innovación y sostenibilidad en la arquitectura colombiana. Recuperado de https://www.torreatrio.com

Torres & Martínez, 2022: Torres, R., & Martínez, S. (2022). Revisión comparada de la normativa de construcción sostenible en Colombia y países del entorno. Recuperado de https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/8ca90592-42fa-44d3-94af-7838d1a91b0c/content?utm_source=chatgpt.com

Torres, J., Ramírez, M., & Sánchez, L. (2021). Implementación de materiales y técnicas alternativas para la construcción de edificaciones sostenibles en Colombia. Recuperado de https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2cffa39d-e985-4ffb-8ac9-ea0927d1cdb0/content?utm_source=chatgpt.com

U.S. Green Building Council (USGBC). (2021). LEED v4 para diseño y construcción de edificios. https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version

USGBC. (2021). LEED v4 for building design and construction. https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version

Wang, J., Feng, L., & Zhang, Z. (2021). Estudio comparativo sobre el consumo energético y las emisiones de carbono entre edificios ecológicos y convencionales. Energía y Edificios, 231, 110561. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821001234

Xu, W., Li, Y., & Huang, J. (2022). Prácticas de construcción sustentable: una revisión del estado actual y las direcciones futuras. Environmental Science & Technology, 56(12), 7836-7851. https://www.researchgate.net/publication/371088144_A_review_of_sustainability_applications_in_the_construction_industry_perspectives_and_challenges

Zhang, J., & Asce, P. E. (2020). Evaluación de sistemas de certificación de edificios ecológicos: un estudio de caso de LEED y EDGE en países en desarrollo. Journal of Performance of Constructed Facilities, 34(6), 04020098. https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0001467

Zhang, Y., Chui, T. F. M., & Liong, S. Y. (2019). Mejorar la gestión de las aguas pluviales urbanas mediante pavimentos permeables. Water Research, 160, 229-239. https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0002181

Zuo, J., & Zhao, Z. Y. (2019). Investigación sobre construcción ecológica: estado actual y agenda futura: una revisión. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 271-281.

https://www.researchgate.net/publication/259158759_Green_building_research-current_status_and_future_agenda_A_review