

Requerimientos de sostenibilidad ambiental durante la etapa de pre-planeación para
proyectos de vivienda de interés social

Edison Bayardo Coronado Alfonso y Edwin Felipe Gutierrez Ibañez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Guillermo Mejía Aguilar

PhD en Ingeniería de la Construcción

Codirector

Oscar Humberto Portilla Carreño

Ing. Civil, MSc. (c)

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Bucaramanga

2023

Agradecimientos

Nos gustaría expresar nuestra gratitud a todas las personas que han contribuido a realizar esta investigación. En primer lugar, queremos agradecer a nuestro director, Guillermo Mejía, por su liderazgo y su apoyo constante en la supervisión de este trabajo. También queremos agradecer a nuestro codirector, Oscar Portilla, por su guía y su mentoría en este proceso de investigación.

A nuestras familias y amigos por su apoyo durante todo este proceso y por último, a la universidad por brindar la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos y habilidades para crecer tanto personal como profesionalmente.

Tabla de Contenido

	Pág.
Agradecimientos	2
Resumen.....	8
Abstract	9
Introducción	10
1. Objetivos.....	12
1.1 Objetivo general.....	12
1.2 Objetivos específicos	12
2. Marco teórico	12
2.1 Construcción sostenible	13
2.2 Vivienda de interés social (VIS).....	13
2.3 Front-End Planning FEP o pre-planeación	14
2.4 Requerimientos de información BIM	15
3. Metodología.....	17
4. Resultados y análisis.....	18
4.1 Medidas de construcción sostenible durante la fase de pre-planeación a nivel mundial.....	18
4.1.1 Áreas de construcción sostenible.....	19
4.1.2 Países identificados con implementación de construcción sostenible	20
4.1.3 Construcción sostenible en la etapa de pre-planificación	23
4.2 Medidas de sostenibilidad durante la fase de pre-planeación a en Colombia.....	23
4.2.1 Beneficios de la implementación de construcción sostenible en Colombia	24
4.2.2 PDRI y la construcción sostenible	26

4.2.3 Sellos de construcción sostenible más utilizados en Colombia.....	26
4.2.4 Diferencias entre los sellos de construcción sostenible más utilizados en Colombia.....	29
4.2.5 Normativa Colombiana de construcción sostenible.....	31
4.2.6 Medidas de construcción sostenibles recomendadas	34
4.3 Construcción sostenible, BIM y pre-planificación	36
4.3.1 Flujo de Procesos BIM – Sostenibilidad.....	36
4.3.2 Análisis de ahorro energético.....	40
4.3.3 Análisis de Luz del día.....	41
4.3.4 Análisis de Iluminación de energía eficiente	43
5. Conclusiones	45
6. Limitaciones y recomendaciones para futuros estudios	47
Referencias.....	49

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Flujo proceso metodológico utilizado.</i>	17
Figura 2 <i>Diagrama de flujo del proceso de selección de documentos adaptado del Instituto Joanna Briggs.</i>	18
Figura 3 <i>Medidas de construcción sostenible</i>	20
Figura 4 <i>Número de artículos por país con enfoque a la construcción sostenible.</i>	21
Figura 5 <i>Número de artículos que se alinearon a un sello de construcción sostenible.</i>	22
Figura 6 <i>Ciclo de vida desde la perspectiva de empresa, activo y proyecto.</i>	39
Figura 7 <i>Modelo Revit® [40]</i>	43
Figura 8 <i>Modelo Dialux®</i>	44

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Distribución de puntos por sistema de certificación.</i>	29
Tabla 2 <i>Línea base de consumo de energía y agua.</i>	33
Tabla 3 <i>Correspondencia entre la impresión visual de claridad y ambientación con el coeficiente de luz diurna CLD medio.</i>	42

Tabla de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A. Excel artículos revisados.

Apéndice B. Excel medidas de sostenibilidad.

Apéndice C. Flujo sostenibilidad – BIM – Gestión.

Resumen

Título: Requerimientos de sostenibilidad ambiental durante la etapa de pre-planeación para proyectos de vivienda de interés social *

Autores: Edison Bayardo Coronado Alfonso, Edwin Felipe Gutierrez Ibáñez**

Palabras clave: Pre-planeación, construcción sostenible, ahorro energético, ahorro agua.

Descripción:

En los proyectos de construcción se deben tener en cuenta los altos niveles de contaminación que se generan durante todo el ciclo de vida de la edificación, los cuales afectan la calidad de vida de las comunidades que circundan el proyecto. Como método de mitigación, se han implementado medidas de construcción sostenible que brindan una alternativa para preservar los activos naturales y artificiales del entorno. Estas medidas deben abordarse desde las etapas tempranas de planificación para asegurar una apropiada implementación, buscando satisfacer y alinear los objetivos económicos y ambientales del proyecto. El presente artículo tiene como propósito identificar medidas de construcción sostenible que puedan ser adoptadas en proyectos de construcción de vivienda de interés social en Colombia. La metodología del estudio se basó en una revisión bibliográfica de artículos publicados en la base de datos SCOPUS y una revisión documental de los sellos de sostenibilidad más implementados en la actualidad. Como resultado, el estudio identificó diecisiete (17) medidas de construcción sostenible, enfocadas principalmente en el ahorro energético y de agua. Complementariamente, el estudio realizó una simulación con dos medidas de ahorro energético mediante software BIM, para evaluar la incidencia o beneficio esperado. Estos resultados constituyen un punto de partida para la incorporación de medidas de construcción sostenible en las etapas tempranas de planificación de los proyectos de vivienda de interés social, que puedan ser adoptados por las empresas constructoras y que les representen beneficios económicos y ambientales en sus proyectos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD. en Ingeniería de la construcción.

Abstract

Title: Environmental sustainability requirements during the pre-planning phase of social housing projects. *

Authors: Edison Bayardo Coronado Alfonso, Edwin Felipe Gutierrez Ibáñez **

Keywords: Front and Planning, Sustainable construction, energy savings, water savings.

Description:

Construction projects must consider the high levels of pollution generated during the construction stages, which impacts the quality of life of the surrounding communities. As a mitigation method, sustainable construction measures have been implemented as an alternative to preserve the natural and artificial assets of the environment. These measures should be addressed from the early stages of planning to ensure proper implementation, seeking to satisfy and align the economic and environmental objectives of the project. This article aims to identify sustainable construction measures that can be adopted in low-income housing projects in Colombia. The study's methodology was based on a literature review of articles published in the SCOPUS database and a documentary review of the most widely implemented sustainability certifications currently in use. As a result, the study identified seventeen (17) sustainable construction measures, mainly focused on energy and water savings. In addition, the study conducted a simulation with two energy-saving measures using BIM software to assess the expected impact or benefit. These results provide a starting point for incorporating sustainable construction measures in the early planning stages of social housing projects, which can be adopted by construction companies and represent economic and environmental benefits in their projects.

* Degree Work

** Physicomechanical Engineering Faculty. School of civil engineering: Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD in Construction Engineering.

Introducción

La industria de la construcción actualmente es considerada como uno de los principales agentes de contaminación a nivel mundial, debido a su amplia producción de gases de efecto invernadero (GEI). Se dice que la construcción es responsable de hasta 30 % de las emisiones globales anuales, siendo una de las siete industrias a nivel mundial que más contribuye al calentamiento global, proporcionándole a la atmosfera volúmenes de dióxido de carbono (CO₂) y otros elementos en magnitudes considerables (Akbarnezhad, Xiao, 2017). Estudios anteriores han evidenciado que las prácticas de construcción sostenible enfocadas principalmente a ahorro energético y de agua se necesitan con premura, principalmente en países en vía desarrollo, con el propósito de mejorar sus métodos constructivos, ya que se puede evidenciar el agotamiento de los recursos naturales esenciales, lo que genera un daño irrecuperable en el medio ambiente (Pradhananga, 2021; Jin, 2021).

Estas medidas de construcción sostenible deben estar alineadas con las buenas prácticas de gestión de proyectos con el fin de obtener los beneficios tanto económicos como ambientales en los proyectos de construcción. Una buena práctica de gestión es *front end planning* (FEP por sus siglas en inglés) o Pre-planeación, establecida por el Instituto de la Industria de la Construcción de Estados Unidos, la cual invita a la maduración y planeación temprana de un proyecto buscando la prevención de problemas en las fases de diseño detallado y construcción. Dentro de esta práctica se emplean herramientas como el índice de definición de proyectos (PDRI por sus siglas en inglés)(*Construction Industry Institute*, 2008), que permiten identificar el nivel de definición del alcance del proyecto para lograr el cumplimiento de sus objetivos.

El PDRI ofrece un método que es aplicable en la planificación inicial, y tiene como objetivo medir la definición del alcance del proyecto para que los equipos de gestión de proyectos identifiquen rápidamente factores y riesgos que puedan afectar el proyecto. Esta herramienta consiste en una matriz de riesgos a evaluar en la etapa de FEP, la cual puede ser adaptada e incluir medidas de construcción sostenible, para proyectos en países en vía de desarrollo (*Construction Industry Institute, 2008*), un ejemplo de esto se presenta en la integración de proyectos de edificios verdes inteligentes (conocidos en inglés como IGBP) y el PDRI.(Chang, 2015).

En Colombia se desarrollan proyectos de vivienda de interés social (VIS por sus siglas), los cuales tienen un alto riesgo al no establecer procedimientos adecuados para el análisis y definición previos del alcance, presupuesto y duración de los proyectos, lo que puede significar en muchas ocasiones retrasos y sobrecostos, como también influenciar la rentabilidad, el cumplimiento sobre requerimientos legales y normativos que no están presentes en otros tipos de proyecto (Gutiérrez-Bucheli, 2015, Morales Londoño, Marcela; Vega, 2005). Este tipo de proyectos es muy importante para el sector de la construcción en Colombia, por lo cual la obtención de los beneficios económicos y de sostenibilidad que pueden obtenerse a través de políticas de desarrollo de construcción sostenible son esenciales para mejorar los indicadores de productividad y desempeño.

El presente trabajo de grado tuvo como propósito la identificación de medidas de construcción sostenible para implementar en los proyectos VIS en Colombia. De esta manera se espera incentivar la construcción sostenible como política organizacional de las empresas constructoras, que sea incorporada desde las etapas tempranas de planeación de los proyectos, para así tener un mayor impacto en cuanto a los beneficios esperados por la organización, como también

beneficios que ayuden a disminuir la huella de carbono generada por la industria de la construcción.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Formular los parámetros de sostenibilidad ambiental aplicables durante la etapa de FRONT END PLANNING para proyectos de vivienda de interés social considerando el contexto Colombiano.

1.2 Objetivos específicos

Identificar los parámetros esenciales de sostenibilidad ambiental que se han incluido durante el FEP.

Definir los parámetros de sostenibilidad ambiental aplicables durante el FEP para proyectos de vivienda de interés social.

Plantear un flujo de un parámetro de sostenibilidad ambiental considerando conceptos de open BIM y buenas prácticas de gestión de proyectos de construcción.

2. Marco teórico

A continuación, se presentan los términos utilizados en el desarrollo de este trabajo de grado.

2.1 Construcción sostenible

Las diferentes agencias de protección del medio ambiente de los Estados Unidos han determinado como construcción sostenible “...aquellas prácticas que utilicen procesos que sean amigables con el medio ambiente y eficientes en el uso de los recursos a lo largo del ciclo de vida de una edificación, desde la etapa de emplazamiento hasta su diseño, la construcción, el funcionamiento, el mantenimiento, la renovación y la demolición.” (U.S. Environmental Protection Agency, 2010); por tal motivo, la implementación de sistemas para la construcción sostenibles genera un aporte importante al ambiente y a la calidad de vida de las personas que las habitan (Susunaga, 2014).

2.2 Vivienda de interés social (VIS)

El Ministerio de Vivienda de Colombia define la vivienda de interés social como “...aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción, cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMLM) (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2022). Así mismo, instaure diferentes pautas de sostenibilidad ambiental para los proyectos de viviendas de interés social: “...Los proyectos de vivienda deben comprometerse con el uso adecuado de los recursos naturales, por esta razón la ubicación, el diseño de los espacios, el aprovechamiento de la vegetación, deben ser pensados para reducir el consumo de energía y de agua, situaciones que contribuyen a la sostenibilidad de los recursos naturales y a la disminución de los gastos de las familias (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2022).

2.3 Front-End Planning FEP o pre-planeación

El FEP hace referencia a una estructura temporalmente ordenada de procesos genéricos con el fin de cumplir el propósito del proyecto según las distintas partes interesadas. Algunos de estos procesos son: el análisis inicial y el análisis de escenarios, el análisis de alternativas y la elección del concepto del proyecto, la evaluación del proyecto, y terminan con el establecimiento de la ejecución del proyecto (Williams, 2019).

Para conseguir una adecuada ejecución de los proyectos se debe llevar una planificación previa con buenas prácticas que garanticen la entrega y rendimiento de los proyectos de construcción. Por lo general los gerentes, diseñadores e ingenieros no pueden adoptar de la manera más adecuada los principios de sostenibilidad aplicables debido a falta de conocimientos de los impactos ambientales y sociales de los proyectos o la falta de procedimientos técnicos (Weerasinghe, 2022).

Llevar a cabo un proyecto de sostenibilidad conlleva esfuerzos adicionales durante las fases de planificación, diseño, construcción y mantenimiento lo que provoca una mayor complejidad para este tipo de proyectos. Cuando se plantea una adecuada planificación, esta se convierte en el núcleo de las prácticas y, por lo tanto, juega un papel vital en el desempeño del proyecto, esto da un enfoque del camino que se debe tomar teniendo en cuenta la incertidumbre y mejorando eficientemente cada proceso para llegar hacerse realidad (Weerasinghe, 2022).

2.4 Requerimientos de información BIM

Es necesario precisar los conceptos de los requerimientos de información BIM establecidos en la norma ISO 19650-1 debido a que estos funcionan principalmente como entradas para la integración de la simulación energética y el software BIM.

- **Entorno común de datos (CDE -por sus siglas en inglés).** Fuente de información acordada para cualquier proyecto o activo, para recopilar, gestionar y difundir cada contenedor de información (estructura digital que almacena y organiza datos, ya sea en forma de archivos, bases de datos, carpetas, documentos, correos electrónicos, entre otros.) a través de un proceso gestionado.

- **Requerimientos de información de la organización (OIR -por sus siglas en inglés).** Son requerimientos de información necesaria para cumplir con los objetivos estratégicos de una organización, estos requerimientos pueden ser motivados por diversos factores, por ejemplo:
 - Operación estratégica empresarial
 - Gestión de activos estratégicos
 - Planificación de cartera
 - Obligaciones regulatorias
 - Formulación de políticas

- **Requerimientos de información del activo (AIR -por sus siglas en inglés).** Los AIR establecen los elementos clave de la gestión, comercio y tecnología relacionados con la

producción de información de los activos. En cuanto a los aspectos técnicos de los AIR, estos se enfocan en proporcionar información detallada que permita responder a los requisitos de información de la organización (OIR) correspondientes. Es importante que estos requisitos se expresen de manera clara y se puedan incorporar a las designaciones para apoyar la toma de decisiones de la organización en cuanto a la gestión de activos.

- **Requerimientos de intercambio de la información (EIR -por sus siglas en inglés).** Los EIR detallan los elementos de gestión, comercio y tecnología relacionados con la producción de información del proyecto. La parte de gestión y comercio de los EIR debe incluir tanto la normativa de información como los procedimientos y métodos de producción que el equipo de entregas utilizará. En cuanto a los aspectos técnicos de los EIR, deben especificar la información detallada necesaria para cumplir con los requisitos de información del proyecto (PIR por sus siglas en inglés). Es importante que estos requerimientos estén definidos de manera clara y puedan ser incorporados en las designaciones relacionadas con el proyecto. Por lo general, los EIR deben estar alineados con los hitos que representan la finalización total o parcial de los hilos del proyecto.

- **Requerimientos de información del proyecto PIR.** Detallan la información necesaria para alcanzar o informar los objetivos estratégicos de la entidad que designa en relación con un proyecto específico. Los PIR se identifican en el proceso de gestión del proyecto y en el proceso de gestión de activos (*ICONTEC E-Collection, 2021*).

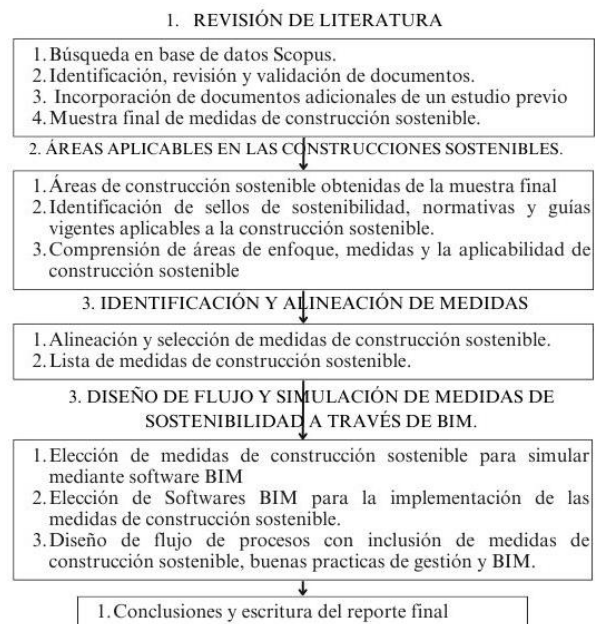
3. Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos, se siguió la siguiente metodología detallada en la Figura 1.

- 1) Revisión de literatura y revisión documental, con el propósito de lograr una muestra final de documentos donde su enfoque estuviera dirigido a las construcciones sostenibles.
- 2) Identificación de las áreas de construcción sostenible, sellos de construcción sostenible y normativa vigente mediante la lectura de la muestra final de documentos.
- 3) Alineación de medidas de construcción sostenible al contexto colombiano.
- 4) Diseño de un flujo de procesos de dos medidas de construcción sostenible a través de BIM y buenas prácticas de gestión de proyectos.

Figura 1

Flujo proceso metodológico utilizado.



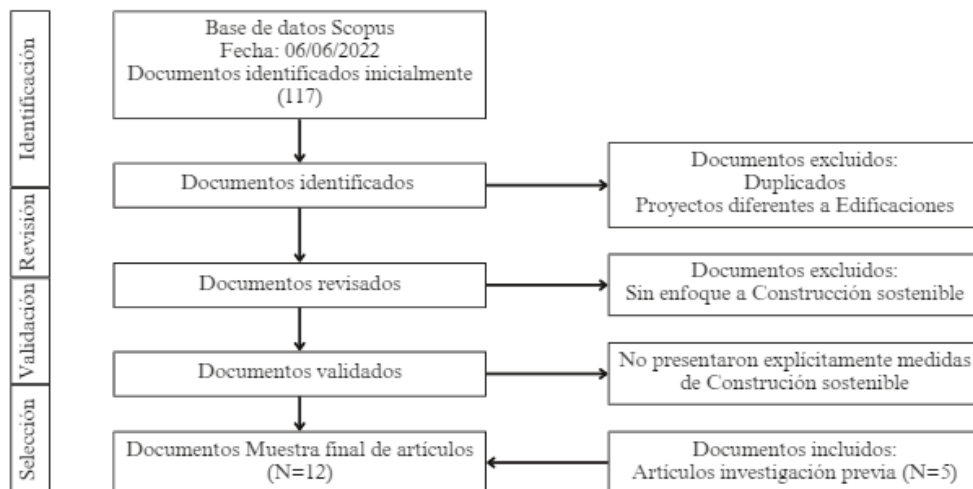
4. Resultados y análisis

4.1 Medidas de construcción sostenible durante la fase de pre-planeación a nivel mundial

Se realizó una búsqueda preliminar con el fin de identificar las medidas de sostenibilidad aplicables durante la etapa de pre-planeación a nivel mundial, la búsqueda fue realizada en la base de datos SCOPUS el día 06/06/2022 mediante la siguiente ecuación booleana sustainability AND ("front end planning" OR "front end loading" OR "pre-planning" OR "preplanning" OR "pre-planning") AND ("Construction project*" OR "construction management" OR "construction industry") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")). Posteriormente, los documentos fueron sometidos a una serie de filtros de inclusión e inclusión siguiendo la metodología de PRISMA (The Joanna Briggs Institute, Reviewers' Manual 2015), tal como se presenta en la Figura 2.

Figura 2

Diagrama de flujo del proceso de selección de documentos adaptado del Instituto Joanna Briggs.



La muestra final permitió identificar 12 documentos donde consideraron medidas de sostenibilidad en edificaciones. A continuación, el análisis general de los documentos el cual puede ser detallado en el Apéndice A.

4.1.1 Áreas de construcción sostenible

Se identificaron tres grandes áreas temáticas de implementación de medidas de sostenibilidad en proyectos de edificaciones, las cuales permiten una disminución considerable de recursos y cuidado del medio ambiente. Estas áreas son las siguientes:

➤ Consumo de Agua:

Medidas enfocadas en disminuir el consumo de agua dentro de la edificación.

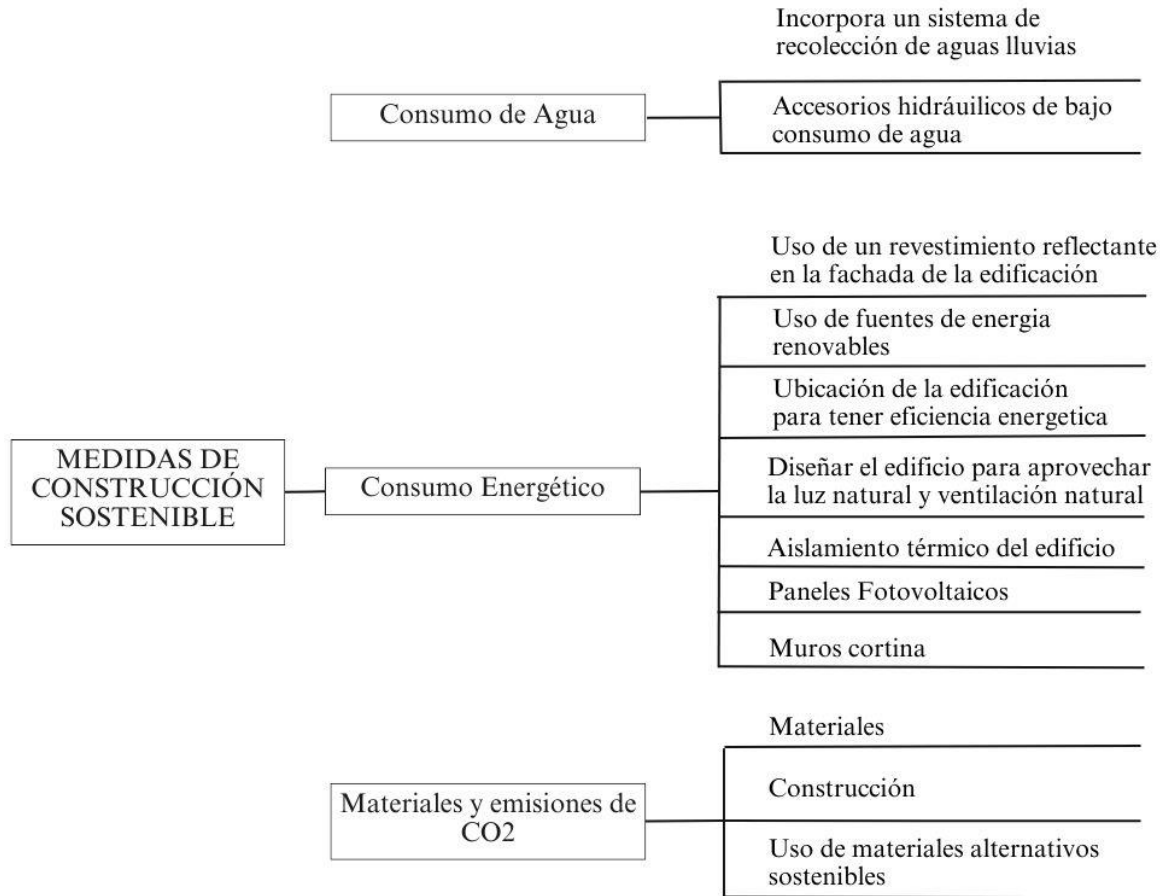
➤ Consumo Energético:

Medidas enfocadas en disminuir el consumo de energía dentro de la edificación.

➤ Materiales y emisiones de CO₂:

Medidas enfocadas en disminuir los efectos de los gases de efecto invernadero emitidos por el sector de la construcción.

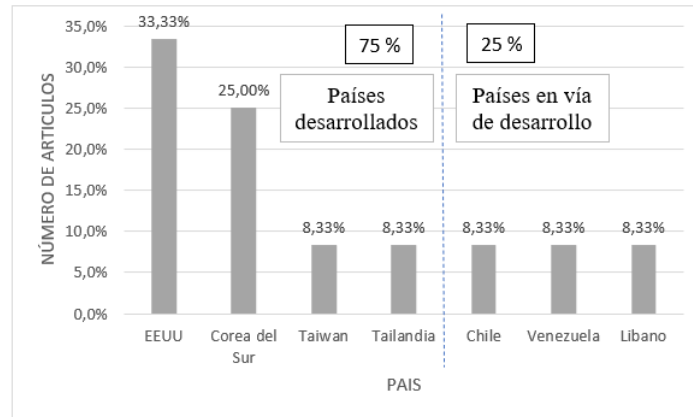
En la Figura 3 se presentan las medidas de sostenibilidad identificadas en la revisión de los documentos respecto al consumo de agua, consumo energético, materiales y emisiones de CO₂. Cabe destacar que estas medidas fueron tomadas de artículos pertenecientes a países desarrollados y países en vía de desarrollo, por lo que se decidió segregar el análisis de los documentos en estos dos grupos.

Figura 3*Medidas de construcción sostenible***4.1.2 Países identificados con implementación de construcción sostenible**

En los documentos seleccionados, aproximadamente el 75% pertenece a países en desarrollo y el restante a países en vía de desarrollo lo cual indica un vacío del conocimiento y la falta de investigación respecto a la implementación de medidas de construcción sostenible en la etapa de pre-planificación en países en vía de desarrollo (ver Figura 4).

Figura 4

Número de artículos por país con enfoque a la construcción sostenible.



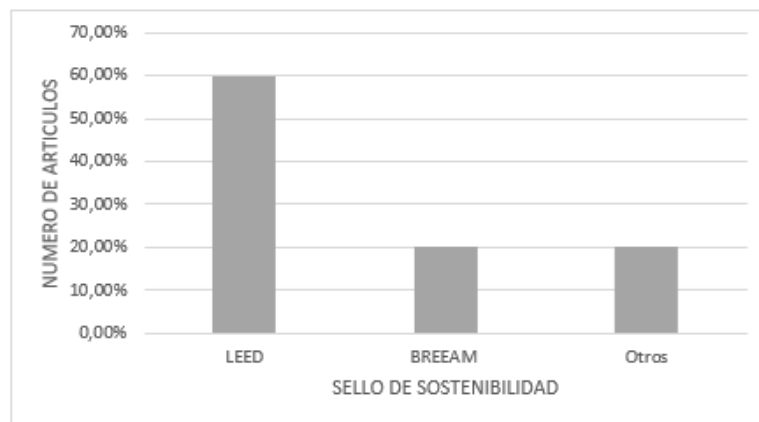
Los países desarrollados como Tailandia, Corea del Sur, EEUU y Taiwán han implementado medidas de eficiencia energética, gestión del agua, manejo de residuos y uso de materiales sostenibles, así como certificaciones de sostenibilidad como BREEAM, LEED, y también, se han propuesto sistemas de calificación de edificios verdes, como el caso de Corea del Sur. Los estudios que han realizado demuestran que la calidad de la planificación previa al proyecto es crucial para el éxito de los proyectos de construcción sostenible en términos de costo y tiempo. El uso de modelos de evaluación como IGBP-PDRI y la adopción de prácticas recomendadas pueden mejorar aún más el éxito y la rentabilidad de estos proyectos. Los proyectos verdes requieren una planificación cuidadosa, incluyendo el diseño de sistemas integrados, el análisis del costo del ciclo de vida y la coordinación de renovaciones. Es importante que la sostenibilidad sea un componente central del proceso de planificación del proyecto para garantizar la integración de las medidas de sostenibilidad (Cattano, 2013; Chang, 2015; Khun-Anod, Limsawasd, 2019; Son, 2015).

Por otro lado, en países en vía de desarrollo como Chile, Venezuela y Líbano se han implementado medidas de eficiencia energética, agua, ventilación y materiales, así como certificaciones de sostenibilidad como BREEM, LEED y Qatar Sustainability. Los estudios realizados han empleado la metodología del mapeo de flujo de valor (VSM) para identificar las fuentes de residuos ambientales y de producción, cuantificarlos y proponer estrategias de reducción de desechos. Además, se han identificado las barreras y los impulsores de la integración de prácticas de construcción sostenibles, brindando prácticas recomendadas para las primeras fases del proyecto e incorporando las medidas de sostenibilidad. Se destaca, entonces, la importancia de incluir la sostenibilidad en los procesos de planificación, lo que sugiere la necesidad de adoptar prácticas de construcción sostenibles desde el inicio del proceso de planificación de todo proyecto (Mneimneh, 2017; Pradhananga, 2021; Rosenbaum, 2013).

El estudio permitió identificar que normalmente, tanto los países desarrollados como los países en vía de desarrollo, se han alineado a la propuesta de adquirir sellos de certificación de construcción sostenible, para la incorporación de las medidas, tal como se presenta en la Figura 5.

Figura 5

Número de artículos que se alinearon a un sello de construcción sostenible.



4.1.3 Construcción sostenible en la etapa de pre-planificación

En relación con la alineación de medidas de sostenibilidad con la etapa temprana de planificación, pre-planeación, se encontraron estudios que destacan la integración del PDRI y los sellos de certificación para mejorar la gestión de proyectos de construcción sostenible. Esto permitiría mejorar la planificación previa al proyecto de construcción sostenibles, identificando las medidas sostenibles necesarias para lograr los objetivos de construcción sostenible. El PDRI proporciona un enfoque estructurado para la gestión de proyectos, mientras que los sellos de certificación, como LEED, ofrecen una evaluación de la sostenibilidad del proyecto. Por lo tanto, la combinación del PDRI y sellos como LEED puede proporcionar un marco integral para la pre-planificación de construcciones sostenibles, mejorando la toma de decisiones y la definición del alcance del proyecto. Finalmente, estos estudios encontraron que la matriz del PDRI posee falencias para la identificación e incorporación de medidas de sostenibilidad en las etapas tempranas de los proyectos por lo que sugieren que sea complementado con un sello de certificación de sostenibilidad (Chang, 2015; Khun-Anod, Limsawasd, 2019; Weerasinghe, 2022).

4.2 Medidas de sostenibilidad durante la fase de pre-planeación a en Colombia

Los resultados encontrados a nivel mundial permitieron tener una visión del manejo que ha tenido la sostenibilidad en los países en desarrollo y países en vía de desarrollo. Colombia es un país en vía de desarrollo el cual posee un tipo de proyecto de bajo costo los cuales están enfocados a la población más vulnerable del país, las viviendas de interés social. Este tipo de proyectos posee limitaciones económicas impartidas por el Gobierno nacional, por lo cual se presenta un reto para las empresas constructoras satisfacer con estas medidas e incluir construcción sostenible en sus proyectos. Debido al imaginario desafortunado de que los proyectos sostenibles

son de mayor complejidad y que la construcción sostenible requiere unos costos de inversión elevados (Kang, 2013), se hace necesario revisar los incentivos económicos y tributarios para implementar la construcción sostenible.

4.2.1 Beneficios de la implementación de construcción sostenible en Colombia

La normativa colombiana ha decretado diferentes tipos de incentivos que tienen como objetivo aumentar el interés de las empresas o personas naturales para la implementación de construcciones sostenibles: De esta manera, la exención de impuestos decretados en el artículo 255 del Estatuto Tributario da beneficios a los inversionistas que adopten medidas de control, conservación y mejoramiento del medio ambiente, con la reducción del 25 % sobre la renta con base en la inversión realizada. Así mismo, hay beneficios en la exclusión de IVA en los equipos o maquinaria, ya sea nacional o importadas, que estén destinados a llevar a cabo una construcción, instalación, montaje y operación de sistemas de control y monitoreo que regulan los estándares ambientales. La normativa colombiana, con su artículo 424 numeral 7 del Estatuto Tributario, ha definido beneficios en la reducción en 19 % en los impuestos correspondientes al IVA para proyectos de construcción que se encuentren certificados en su fase de diseño. El estado colombiano ha asignado diferentes entes reguladores que se encargan de la verificación de las medidas decretadas, como son las corporaciones autónomas ambientales, las corporaciones sostenibles, las autoridades de los centros urbanos y las prescritas en el artículo 13 de la Ley 768 del 2022.

Igualmente, entidades financieras han presentado un aporte significativo a los proyectos de sostenibilidad, principalmente dan beneficios en reducción de intereses preferenciales en créditos, asesoramiento en el control y venta de construcciones sostenibles. Los beneficios presentados por

las entidades varían dependiendo si los proyectos son implementados por gremios de la construcción o si los proyectos están guiados por personas independientes que estén incursionando en el sector de la construcción sostenible. Los diferentes métodos de verificación solicitados por las entidades financieras para la adquisición de los créditos están basados en certificaciones de sostenibilidad LEED, EDGE, CASA, BREEAM, COREL o cualquier otro que sea válido en Colombia.

En una entidad financiera como Bancolombia los beneficios monetarios que se asignan a los proyectos dependen del impacto social y ambiental que genere el proyecto después de una evaluación interna, ya que el banco ofrece líneas de créditos como constructor sostenible, constructor sostenible leasing, y constructor individual sostenible (*Construcción Sostenible y Vivienda VIS En Colombia Oportunidades y Retos*, 2020). En el caso de Davivienda, también se brindan incentivos que los denominan crédito constructor y líneas verdes, el cual para proyectos VIS permite una reducción del 0.75 % del interés dependiendo de la tasa vigente. El monto que las entidades financieras han dispuesto para este tipo de proyectos es máximo de 500 millones y una disminución de 100 puntos en la tasa de interés activa respecto a la pasiva según el proceso de regulación que posea (spread) a las empresas (*Davivienda Colombia*, 2021). También hay que tener en cuenta que tanto las construcciones sostenibles como las no sostenibles tienen como requerimiento la compra de seguros que garantice la ejecución y finalización de los proyectos; para las construcciones sostenibles, entidades como SURA ofrece en sus seguros una reducción de un 10 % del seguro en proyectos de construcción sostenibles certificados con LEED (Silver, Gold, Platinum), esto cuenta tanto para edificaciones nuevas como para existentes (*Seguros Sura Colombia*, 2018).

4.2.2 PDRI y la construcción sostenible

Partiendo de estos beneficios para la construcción sostenible que son altamente beneficiosos para los proyectos VIS debido a sus limitantes económicas, este estudio abordó la forma de identificar las medidas de construcción sostenible para en futuros estudios incorporarlo a la herramienta del PDRI y alinearse con uno o varios sellos de sostenibilidad o normativa local que facilite su incorporación. El objetivo de la implementación del PDRI en proyectos de construcción sostenibles es mejorar el desempeño de la gestión del proyecto e identificar elementos que pueden afectar las medidas de construcción sostenible, cumpliendo las tres fases de pre-planeación: factibilidad, concepto y alcance detallado. De esta manera, poder generar alternativas a fin de poder culminar los proyectos de construcción sostenibles bajo las restricciones y objetivos del proyecto.

La implementación de diferentes sellos de sostenibilidad a nivel nacional se hace dependiendo el tipo de medida de construcción sostenible que se vayan a implementar; teniendo como punto de partida esto, se evidenciaron 3 sellos que han sido implementados con mayor frecuencia, entre ellos están:

4.2.3 Sellos de construcción sostenible más utilizados en Colombia

- Leadership in Energy and Environmental Design (LEED):

Se enfoca en el desempeño del edificio y dependiendo la tipología de la edificación usará un método o sistema LEED que se adapte a la misma; posee certificaciones para construcciones nuevas, edificios existentes, operación y mantenimiento, interiores comerciales, envolvente y núcleo.

La certificación LEED es un sistema holístico, ya que no solamente considera elementos como la energía, agua o salud, sino que tiene presente un panorama general con base en que se deben observar todos los elementos críticos para crear el mejor edificio posible. Dependiendo de las medidas previas y créditos que dan las categorías que maneja la certificación como el carbono, la energía, el agua, los desechos, el transporte, los materiales, la salud y la calidad ambiental interior. Cada medida tiene una puntuación que al final permite clasificar el tipo de proyectos en 4 categorías: Certificado (40-49 puntos), Plata (50-59 puntos), Oro (60-79 puntos) y Platino (mayor o igual a 80 puntos). No obstante, la puntuación de los proyectos pasa por un proceso de verificación y revisión por GBCI (Green Business Certification Inc.)(Consejo de Construcción Ecológica de EE. UU., 2023).

➤ Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE):

EDGE es una innovación de IFC, organización hermana del Banco Mundial e integrante del Grupo Banco Mundial y está enfocado principalmente en el cálculo de los ahorros en sus 3 categorías durante el uso del edificio, así como en la reducción de las emisiones de carbono; esto lo realiza mediante su plataforma la cual contiene un estándar verde global, una aplicación de software y un programa de certificación. EDGE permite su uso en cualquier etapa del ciclo de vida útil de la edificación, lo que incluye la idea conceptual o el diseño de un edificio, las nuevas construcciones, los edificios existentes y las renovaciones.

Principalmente, para poder obtener la certificación, el proyecto debe demostrar una reducción del 20 % en el consumo energético, agua y de materiales lo que lo convierte en un sistema sencillo de aprobado o desaprobado. Edge facilita el cálculo del ahorro teniendo en consideración casos base que a su vez poseen características como tipo de la edificación, lugar y

condiciones climáticas, todo lo anterior se realiza gracias a la ayuda de la interfaz del aplicativo el cual tiene en cuenta cada medida aplicable en el caso de estudio.

Además de la certificación EDGE, también da pie a las certificaciones EDGE Avanzado (requiere haber logrado un 40 % o más de ahorro de energía por encima de las medidas mínimas) y EDGE Carbono Cero (requiere un ahorro mínimo del 20 % en agua y energía incorporada, un ahorro de energía del 40 % en el lugar y la neutralización del 100 % de las emisiones de energía). Todo el proceso de certificación se realiza en línea a través del software de EDGE (Edge, 2021).

➤ CASA COLOMBIA:

Su objetivo principal es brindar a la industria de la construcción colombiana una herramienta que facilite la construcción sostenible de viviendas nuevas. Casa Colombia está alineado con el contexto colombiano de crecimiento verde, y ha sido utilizado como referencia en el CONPES 3919 “Política Nacional de Edificaciones Sostenibles” y su base está enfocada en nueve categorías de evaluación (sostenibilidad en el entorno, sostenibilidad en obra, eficiencia en agua, eficiencia en energía, eficiencia en materiales, bienestar, responsabilidad social); este sistema de certificación tiene lineamientos opcionales y obligatorios además también posee cinco niveles de certificación. De igual manera que los sellos internacionales este cumple con un sistema de puntuación que se asignan dependiendo las medidas o lineamientos implementados; en el caso de la versión VIS, los puntos se distribuyen de la siguiente manera dependiendo el nivel de certificación: excepcional (+80 puntos), excelente (60-79), sobresaliente (40-59), muy bueno (20-39) y bueno (lineamientos obligatorios), de esta manera permite un puntaje máximo de 102 puntos. La certificación definitiva se expide de forma conjunta entre el Consejo Nacional de Construcción

Sostenible (CCCS por sus siglas) y Bureau Veritas (aliado principal del CCCS) (Casa-Colombia-VIS-1.1, 2022).

4.2.4 Diferencias entre los sellos de construcción sostenible más utilizados en Colombia.

Las diferencias entre una certificación y otra es el tipo de indicador que poseen, además de la prioridad que le da cada sello a cada medida de sostenibilidad en los proyectos. Cabe hacer énfasis que cada uno tiene su clasificación numérica independiente de sus medidas (ver Tabla 1).

Tabla 1

Distribución de puntos por sistema de certificación.

Indicador	LEED	Ref. CASA	EDGE
Proceso integrativo	2	2	N/A
Salud y Productividad	14	18	N/A
Energía	32	23	Modelo
Transporte	16	0	N/A
Agua	9	15	Modelo
Materiales	13	11	Aporte Energía
Residuos	2	2	N/A
Uso del suelo y Ecología	13	23	N/A
Polución	0	2	N/A
Innovación	5	0	N/A
Prioridad Regional	4	0	LB Consumo

Responsabilidad Social	0	6	N/A
Puntos Posibles	110	102	N/A

Cada sello de sostenibilidad presenta en Colombia diferente cantidad de certificaciones en las edificaciones culminadas. Por ende, al realizar una búsqueda en las distintas páginas web, se encontró que respecto al sello Casa Colombia han sido diecinueve (*Proyectos Casa Sostenibles - CASA Colombia, 2023*), con certificación LEED ciento setenta (*LEED Project Profiles U.S. Green Building Council, 2023*) y con el sello de Edge son ciento dieciocho (*Estudios de Proyecto - Edificios EDGE, 2021*). Se evidencia una diferencia considerable entre los tres debido a que Casa Colombia, por su creación reciente no ha sido implementado con mayor frecuencia, sin embargo, este se acopla más a las condiciones actuales del país.

Además, en Colombia actualmente se han certificado diferentes profesionales con sello Edge, LEED y Casa Colombia, dando un total de 72 personas certificadas para casa Colombia (*Profesionales Casa - CASA Colombia, 2023*), 219 con certificación LEED y 121 con certificación Edge (*EDGE App, 2023*) en las diferentes ciudades a nivel nacional. Los costos de las certificaciones varían de la siguiente forma: en el caso de Edge el valor esta entre \$ 33'923.000-36'037.000 (pesos colombianos), (29.2 – 31) SMMLV, dependiendo la cantidad de viviendas que se encuentren en el proceso de certificación (*Precios de La Certificación EDGE - Edificios EDGE, 2023*). Para el caso de Casa Colombia, este valor está en \$25'469.000 (pesos colombianos) para el tipo de proyecto que se quiera certificar. En el caso de LEED el costo depende de los sistemas y programas de calificación, ya que cada uno de estos posee diferentes tarifas de registro y certificación. Cabe hacer claridad que estos precios pueden disminuir si los proyectos de

sostenibilidad están siendo guiados por alguien certificado con alguno de los sellos (*Consejo de Construcción Ecológica de EE. UU.*, 2023).

Es importante mencionar que existen otros sellos de sostenibilidad, como HQE, BREEAM, PASSIVHAUS, WELL, entre otros, que son reconocidos a nivel mundial y que promueven prácticas de construcción sostenible y operación de edificios y viviendas. Sin embargo, en Colombia estos sellos aún no han sido tan ampliamente implementados como los mencionados anteriormente. Finalmente, se hace necesario revisar la normativa colombiana sobre implementación de sostenibilidad.

4.2.5 Normativa Colombiana de construcción sostenible

Además de los sellos ambientales mencionados anteriormente y las facilidades económicas por parte de las entidades financieras, existe la Resolución 0549 de 2015 establecida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio la cual tiene como objetivo establecer los porcentajes mínimos y medidas de ahorro en agua y energía a alcanzar en las nuevas construcciones (Ministerio de Vivienda, 2015); para que esta estuviera en concordancia con diferentes normativas internacionales obtuvo asesoramiento de la Corporación Financiera Internacional (IFC), mediante esa orientación se planteó un código nacional de construcción sostenible acoplado a las condiciones de climatología del país, con el fin de disminuir los impactos ambientales generados en los diferentes sectores de la construcción, haciendo énfasis en el consumo de agua, energía y materiales.

El ahorro de agua y energía se han establecido obligatorias para conseguir resultados considerables en las edificaciones, de igual manera se debe tener en cuenta que los porcentajes varían dependiendo el clima y el tipo de edificación; cabe aclarar que la implementación de estas

medidas se efectúa gradualmente. Actualmente, las medidas establecidas deben garantizar que sean ejecutables en los proyectos, esto permite llevar un seguimiento y control, por otro lado, también es de utilidad en la adquisición de los distintos beneficios económicos que ofrecen las entidades estatales o privadas las cuales se han concentrado en dar un cambio a los procesos tradicionales de construcción que generan daños al medio ambiente.

En la resolución 0549 de 2015 se hace mención a que la disminución en el consumo de agua y energía parte inicialmente del diseño planteado arquitectónicamente, del proceso de construcción que se lleva a cabo y de los hábitos que tengan los usuarios que vayan a ocupar la edificación, además de tener en cuenta el clima del municipio donde se va a llevar a cabo el proyecto; todo con el fin de evitar incidencias negativas en los proyectos de construcción debido a la diversidad de climas que contempla el país. El IDEAM clasifica el clima colombiano en pisos, proponiendo cinco pisos térmicos (Glacial, Páramo, Frío, Templado y Cálido).

Lo anteriormente mencionado conlleva a la definición del consumo de agua y energía dependiendo el lugar y el tipo de edificación que se vaya a implementar, de esta manera crean una línea base que tiene en cuenta diferentes variables (hora, ocupación, sistemas de iluminación, aire acondicionado, etc. para conseguir un balance entre las medidas a implementar (ver tabla 2).

Para obtener bases de datos que ratificarán las clasificaciones y medidas a implementar obtuvieron ayuda de corporaciones como Corpoema (Corporación para la Energía y el Medio Ambiente), una organización que se especializa en la investigación de mercados relacionados con la energía, otras entidades como Camacol y empresas de servicio público que facilitaban el número de usuarios bajo tipos y consumos de servicios públicos, tomando como muestra datos de consumo de Electricidad, Agua y Gas Natural.

Tabla 2

Línea base de consumo de energía y agua.

Vivienda a VIS	Frío		Templado		Cálido seco		Cálido húmedo	
	kh/m ² - año	lt/pers/día	kh/m ² - año	lt/pers/día	kh/m ² - año	lt/pers/día	kh/m ² - año	lt/pers/día
	44.6	105.7	44.0	113.9	34.6	156.7	49.3	125.4

Se han planteado medidas de eficiencia en las edificaciones, que podrían ayudar en gran medida a mejorar su desempeño. Para ello, se implementan medidas de eficiencia energética pasiva y activa, que, en conjunto o por sí solas, pudieran reducir significativamente el consumo de recursos. Cabe aclarar que actualmente son recomendaciones para las Viviendas de Interés Social los porcentajes establecidos por la resolución (*Anexo Técnico Código de Construcción Sostenible En Colombia Guía de Construcción Sostenible Para El Ahorro de Agua y Energía En Edificaciones*, 2013).

En las medidas pasivas se tienen en cuenta los aspectos civiles y arquitectónicos al momento de su diseño, se puede considerar las de menores costos debido a que no requiere ningún equipo en específico y que su resultado en el consumo de energía es notable, la implementación adecuada del aspecto pasivo radica en el diseño que otorgará una mejora en el confort de sus ocupantes con poco o ninguna dependencia artefactos de calentamiento, enfriamiento e iluminación.

Por otro lado, las medidas activas consisten en llevar a cabo el uso de artefactos mecánicos que produzcan confort en las edificaciones utilizando recursos energéticos o hídricos, como

ejemplo se encuentra la iluminación el cual es uno de los factores que conllevan mayor demanda de recursos energéticos, para mitigar esta demanda existen bombillas que implementan consumos de energía reducidos disminuyendo el consumo de recursos energéticos.

En recopilación de todo lo anteriormente mencionado la normativa ha implementado una matriz que propone medidas para lograr los porcentajes de ahorro en agua y energía dispuestos en la resolución dependiendo de sus características, donde las medidas están clasificadas según su potencial de ahorro de agua/energía, su costo de implementación, el periodo de retorno de la inversión, la disponibilidad en el mercado y la facilidad de inclusión. El cumplimiento de las recomendaciones dará un ahorro aproximado de energía y agua según lo establecido, de igual manera esto no conllevará a un incremento mayor del 5 % en costos de la edificación, así mismo la inversión sería recuperable en un tiempo menor a 5 años, esto hace énfasis a proyectos no VIS y VIP que por su presupuesto de ejecución no se podrá invertir un costo mayor al 3%.

4.2.6 Medidas de construcción sostenibles recomendadas

Como resultado final se obtiene la siguiente lista de medidas mediante el cruce de lo encontrado en LEED, EDGE, CASA y la resolución 0549 de 2015. Para obtener esta lista se tomaron las medidas obligatorias o recomendadas en los documentos mencionados anteriormente.

Energía

- Medición de las fuentes de energía
- Relación ventana pared
- Coeficiente de desempeño (COP)
- Agua caliente solar

- Corrección factor de potencia
- Iluminación de energía eficiente

Agua

- Medición del consumo de agua
- Accesorios conservación de agua

Materiales

- Gestión de la durabilidad

Entorno

- Manejo de escorrentía

Obra

- Manejo de residuos de construcción y demolición
- Condiciones laborales mínimas

Educación

- Formación de los residentes

Generales

- Ventilación natural / Calidad del aire
- Luz natural

- Orientación (Forma y distribución interna)
- Prioridad regional

Esta lista permite a las empresas constructoras de proyectos de vivienda de interés social identificar y adaptar las medidas que podrían incorporar en sus proyectos. Su identificación en la fase de pre-planeación facilita su implementación desde el diseño conceptual hasta el diseño detallado.

En esta lista, el único estudio de análisis costo-beneficio identificado en Colombia pertenece a la resolución 549 de 2015 del ministerio de vivienda, ciudad y territorio donde se encontró que las áreas de energía y agua es donde las empresas pueden abordar primeramente la sostenibilidad sin incurrir en grandes inversiones. Teniendo en cuenta esto, se presenta más información sobre las áreas de energía y agua en el Apéndice B adjunto. Se realiza la aclaración que en el avance del documento se identificó que el término adecuado a referirse es "medida de construcción sostenible" basados en lo identificado en la literatura.

4.3 Construcción sostenible, BIM y pre-planificación

4.3.1 Flujo de Procesos BIM – Sostenibilidad

Partiendo de las medidas de construcción sostenible recomendadas en numeral 4.2.6 de este documento se realizó un flujo de procesos para identificar la interacción de las medidas de construcción sostenible y el Open BIM, Con este flujo se espera que las empresas dedicadas a proyectos VIS identifiquen las medidas de construcción sostenible desde las etapas de pre-planificación y las integren con flujos BIM.

El flujo de procesos propuesto integra una simulación de dos medidas de eficiencia energética: Coeficiente de luz día e iluminación de energía eficiente. Para ello, se consideró las medidas establecidas por la resolución 180540 de 2010 establecida por el Ministerio de Minas y Energía. Así mismo, para la simulación se utilizaron software BIM que realizan los análisis de sostenibilidad.

Debido a que los análisis de sostenibilidad no se realizan de forma aislada en una empresa, sino que debería haber la integración empresa, activo y proyecto. En el flujo de procesos propone como entradas para la simulación se defina lo establecido en el inciso 2.4 *Requerimientos de información BIM* planteados en este documento (Tomado de los resultados del proyecto de maestría al cual este proyecto de grado se enmarca como pasantía de investigación).

En la Figura 6 se presenta parte del flujo de procesos, en donde se establece los diferentes puntos de vista de empresa, activo y proyecto. Para más información remítase al Apéndice C donde es detallado el flujo de procesos.

Empresa:

Es el punto en el que se desarrollan los Requisitos de Información de la organización (OIR), que detallan la información de alto nivel que una organización necesita en toda su cartera de activos y departamentos. En este punto nace una política de implementación de sostenibilidad en los proyectos a ejecutar.

Activo:

Este es el punto en el que se desarrollan los Requisitos de Información de Activos (AIR), que especifican la información de alto nivel necesaria para gestionar los activos físicos en la fase

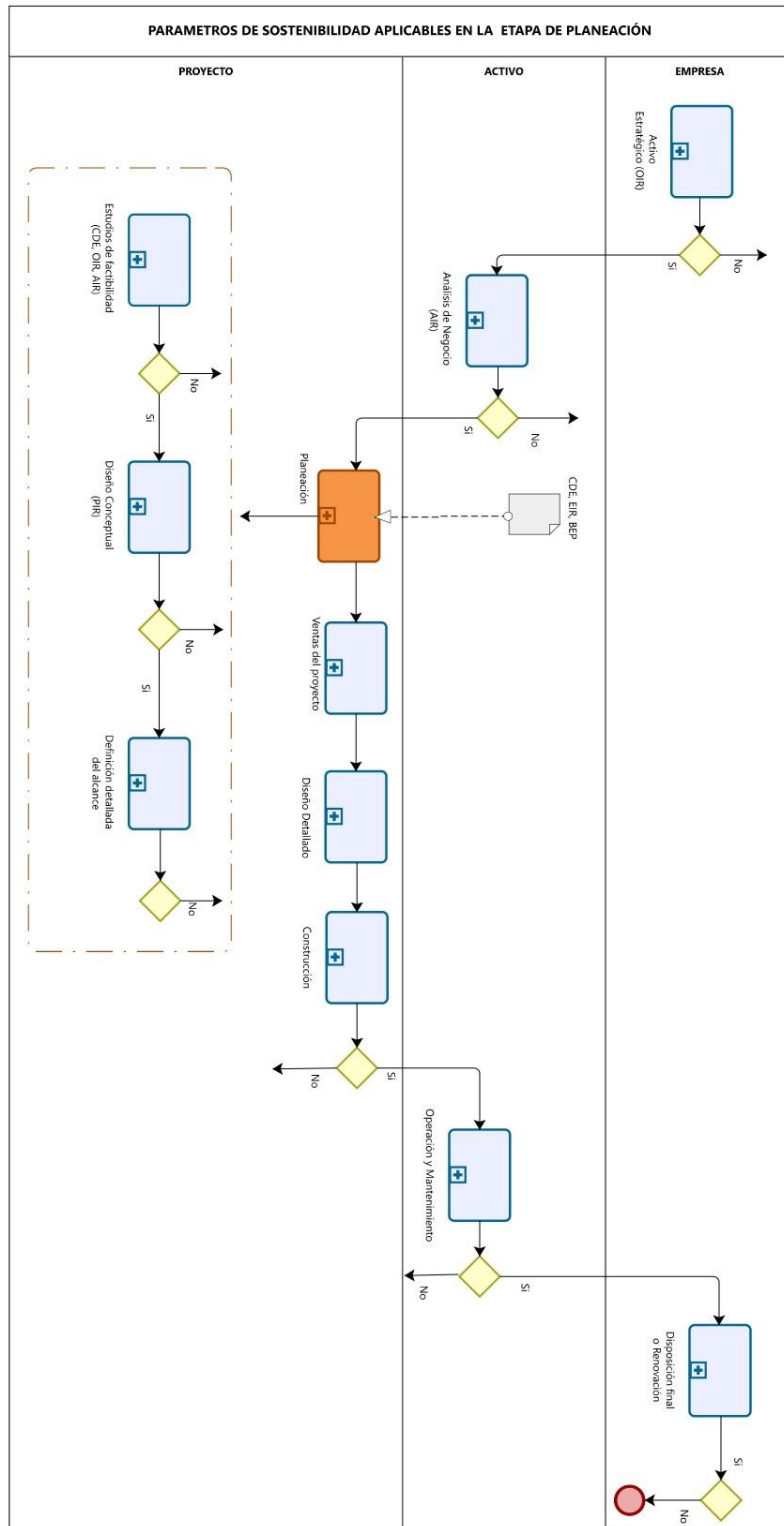
de operación y mantenimiento. En este punto, deben establecerse los requisitos BIM de alto nivel para determinar cómo se realizará y gestionará la información durante la fase de planificación. Aquí se definen el Entorno Común de Datos (CDE) del proyecto, los requisitos de intercambio de información (EIR) y un plan de ejecución BIM.

Proyecto:

Hacia las subfases de diseño conceptual y definición detallada del alcance, se debe definir los requisitos de información del proyecto (PIR). Éstos permiten comprender la información de alto nivel que la parte contratante necesita durante un proyecto de diseño y construcción.

Figura 6

Ciclo de vida desde la perspectiva de empresa, activo y proyecto.



Para la realización de los análisis se utilizó un caso de estudio que corresponde a una vivienda conformada por dos habitaciones, dos baños, un cuarto de estudio, sala comedor, cocina, patio, y pasillo para escaleras, así mismo este modelo está conformado por un grupo de ventanas que le dan a la vivienda una entrada de luz natural en todas las áreas de la vivienda [Figura 7], por tanto en este modelo ya se ha realizado una coordinación de las distintas disciplinas como arquitectura y estructura, lo que permite simular medidas de construcción sostenible. Factores como el temporal y costos no se consideraron en el modelo debido a que no afectaba de forma directa el análisis, sin embargo futuros proyectos académicos podrían considerarlo.

Identificado el ciclo de vida y teniendo los documentos de entrada para la realización de un análisis de ahorro energético ya se puede proceder con la producción de la información en el software.

4.3.2 Análisis de ahorro energético

La Resolución 180540 de 2010 establece medidas técnicas de iluminación que se deben tener en cuenta a la hora de la implementación de medidas activas o pasivas, con la finalidad de darle confort a los integrantes que se encuentren en las edificaciones, eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas.

Para tener un estándar la norma 180540 de 2010 establece niveles máximos y mínimos, así como intervalos para índices o relaciones como: coeficientes de luz diurna (CLD), índices de deslumbramiento unificado (UGR), niveles de iluminación o iluminancia, rangos de eficiencia energética de las edificaciones (VEEI). Además, presenta diferentes variables a considerar al momento de realizar un diseño de iluminación interior (*Resolución 180540, 2010*).

Con el fin de hacer uso de medidas mediante la metodología BIM se utilizan dos Software distintos (Revit® y Dialux ®)(Autodesk, 2021; DIAL GmbH Lüdenscheid, 2023), donde el primero fue elegido debido a que es uno de los softwares que es más comúnmente utilizado y se puede utilizar mediante una licencia estudiantil, personal o empresarial; por otro lado, se realizó uso de Dialux® (DIAL GmbH Lüdenscheid, 2023) debido a que permite hacer uso de su interfaz sin tener licencia, siendo de este modo de uso libre y gratuito. Cabe aclarar que se manejaron dos medidas en específico, uno por cada software y se especifica a continuación.

4.3.3 Análisis de Luz del día

Esta medida se puede medir mediante el CLD (coeficiente de luz diurna), el cual permite indicar la disponibilidad de luz natural en interiores y su alto potencial de ahorro de energía; para esta medida se tiene en cuenta la relación entre la iluminancia promedio interna (EINT por sus siglas en inglés) producida por la luz natural a una distancia de plano de análisis y la iluminancia en el exterior de la edificación. En la actualidad existen Softwares especializados en el cálculo del factor CLD como REVIT® (Autodesk, 2021) o DESIGNBUILDER® (Compañía de software en Stroud, 2022) que nos permiten un análisis inicial más eficiente, práctico y de precisión, teniendo en consideración variables como el lugar de implementación y geometría del modelo.

Para la implementación del análisis CLD se implementó el software Revit® (Autodesk, 2021), el cual es una herramienta BIM que a pesar de usarse principalmente para el modelado de formas, estructuras y sistemas en 3D con exactitud paramétrica, precisión y facilidad, entre otras características; en su interfaz permite brindar un enfoque a los análisis energéticos en un modelo 3D, requiriendo entradas de información como ubicación, umbrales del factor a analizar [Tabla 3], variables a tener en cuenta y altura de análisis.

Tabla 3

Correspondencia entre la impresión visual de claridad y ambientación con el coeficiente de luz diurna CLD medio.

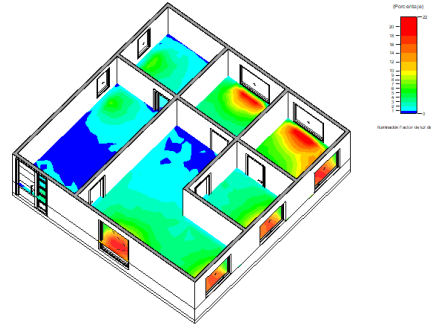
% CLD sobre un plano horizontal	<1 Muy bajo	1-2 Bajo	2-4 Moderado	4-7 Medio	7-12 Alto	>12 Muy alto
Sector del local	Zonas alejadas de las ventanas, distantes 3 a 4 veces la altura de las ventanas			Zonas próximas a ventanas o bajo claraboyas		
Impresión de claridad	De oscura a poco clara		De poco clara a clara		De clara a muy clara	
Ambientación	El local parece separado del exterior (dormitorios)			El local se abre hacia el exterior (áreas de Trabajo)		

El software nos da como salida, datos de factor luz diurna en áreas específicas de la edificación, lo cual permite darse cuenta de los lugares que necesitan implementación de medidas (pasivas o activas) que nos brinden ya sea una reducción de luz natural o un aumento de luz, todo esto guiado por las medidas establecidas por la Resolución 180540 de 2010. Lo expuesto anteriormente se consolida y se aprecia en el Apéndice C.

El análisis realizado en Revit®(Autodesk, 2021) da como resultado las áreas que se pueden intervenir con elementos de sombreado o con diferentes métodos activos o pasivos para conseguir el confort de la edificación, teniendo como puntos críticos las zonas cercanas a las ventanas donde se presenta una mayor entrada de luz natural lo cual hace que las medidas para el CLD superen los establecido en la tabla 410.2.2.b de la resolución 180540 de 2010.

Figura 7

Modelo Revit® [40]

**4.3.4 Análisis de Iluminación de energía eficiente**

La iluminación de energía eficiente es aquella que considera la mayor densidad de potencia de luz (LPD), esta medida indica la potencia eléctrica que es implementada en los elementos lumínicos instalados en las edificaciones dividido por el área total de la edificación. Para la implementación de esta medida existen softwares de apoyo utilizados en la industria de la construcción como Dialux® (DIAL GmbH Lüdenscheid, 2023), el cual brinda un amplio catálogo de luminarias de distintas referencias que son implementadas en el sector de la construcción en Colombia, así mismo da un análisis puntual de (LPD, UGR y VEEI) que establece la normativa 180540 de 2010.

Para obtener un análisis de energía eficiente se deben tener en cuenta diferentes medidas dependientes del uso de la edificación como límites de deslumbramiento, tiempos de uso, etc. En este estudio se implementó la herramienta Dialux® (DIAL GmbH Lüdenscheid, 2023), que nos brinda un modelo digital de iluminación con medidas activas que da como resultados índices de deslumbramiento, densidad de potencia de iluminación y medidas de eficiencia energética de los edificios; con esta información se obtiene la cantidad de luminarias necesarias, la distribución más

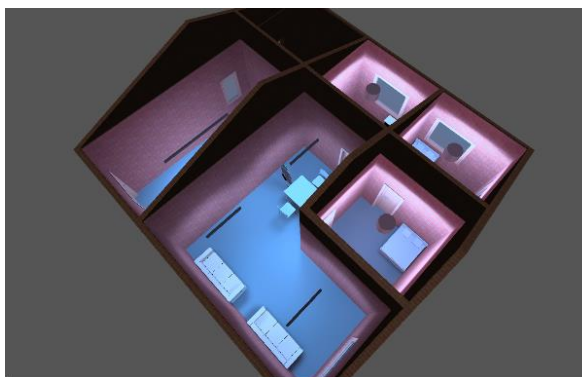
acorde al modelo y un análisis de los posibles elementos de iluminación que se pueden implementar con mayor exactitud gracias a la amplia galería y referencias que brinda el programa para su análisis.

Para que el modelo efectúe un análisis adecuado, se debe introducir la ubicación del proyecto, un diseño preliminar, alturas de análisis que deben estar entre los rangos establecidos por la norma 180540 y una norma de referencia para el estudio en el software. De igual forma para un estudio con mayor precisión el programa permite introducir valores como la reflectancia que se produce en las paredes del lugar de análisis variando según el tipo de color que se contempla en el modelo debido a que esto influye en un porcentaje considerable en el deslumbramiento de las superficies de análisis, estos rangos son especificados en la norma 180540.

El estudio realizado en Dialux® (DIAL GmbH Lüdenscheid, 2023) permitió realizar una distribución adecuada con el fin de reducir al mínimo la implementación de herramientas activas y principalmente cumpliendo con los requerimientos establecidos en la norma 180540 de eficiencia energética. [Figura 8].

Figura 8

Modelo Dialux®



Finalmente, estos resultados fueron obtenidos siguiendo el flujo de procesos detallado en el Apéndice C el cual permite la reproducibilidad de los resultados.

5. Conclusiones

- En los periodos identificados de la revisión bibliográfica y documental se pudo inferir que, entre 2010 hasta el 2023, se han manejado 3 áreas de sostenibilidad con una media de 12 medidas propuestas. Sin embargo, se pudo evidenciar que desde el 2015 las investigaciones sobre las áreas y medidas tuvieron un crecimiento exponencial dando evidencia del interés sobre la aplicabilidad de la sostenibilidad en las viviendas.
- Se evidenciaron diferentes medidas en los sellos de sostenibilidad EDGE, LEED y CASA COLOMBIA, los cuales están planteados para obtener determinados ahorros dependiendo el sello a implementar, la principal opción para tomar como base eran la certificación CASA COLOMBIA, ya que, debido a la limitación del contexto colombiano y a proyectos VIS, eran las que mejor se adaptaban a las características del país; pero debido a que Colombia tiene en vigencia la Resolución 0549 del 2015 que establece los porcentajes mínimos de ahorro de energía y agua, se optó por tomar como referencia la resolución planteada y algunos brindados por el PDRI.
- La integración del PDRI y los sellos de certificación como LEED es una estrategia efectiva para mejorar la gestión de proyectos de construcción sostenible en proyecto VIS. La combinación de ambos enfoques proporciona un marco integral para la planificación previa al

proyecto, lo que permite identificar las medidas sostenibles necesarias para alcanzar los objetivos de construcción sostenible. Además, esta integración mejora la toma de decisiones y la definición del alcance del proyecto, lo que puede contribuir a la creación de construcciones sostenibles de manera más eficiente y efectiva.

- Se identificaron 17 medidas aplicables en el FEP, de los cuales la norma 0549 del 2015 especifica 6 recomendados para viviendas VIS y VIP, en estos se evidencian que las medidas de relación ventana pared y accesorios conservación de agua que son aplicables en cualquier tipo de clima.
- En la implementación de software Open Bim se pudo evidenciar un progreso en últimas versiones, ya que ofrecen la integración de herramientas enfocadas en el estudio solar y energético, creando nuevas brechas de interoperabilidad por los diferentes desarrolladores de software enfocados en análisis de sostenibilidad. Para el caso de Revit® (Autodesk, 2021), se pudo establecer que es un software que facilita un análisis preliminar de alto nivel debido a que su interfaz y requerimientos de datos para su ejecución no son tan específicos y muy intuitivos para personas que no tengan conocimiento tan avanzado en temas de sostenibilidad.
- Al buscar un software para un análisis de Luz día (CDL) es importante considerar diferentes opciones antes de tomar una decisión. En este sentido, Revit®(Autodesk, 2021) y DesingBuilder® (Compañía de software en Stroud, 2022) son dos alternativas que fueron comparadas. DesignBuilder® (Compañía de software en Stroud, 2022) es un Software especializado en 9 módulos (Visualización, simulación, optimización, iluminación, coste,

CFD, HVAC, LEED, Scripting), para este software los requerimientos de datos de entrada eran más específicos y requerían mayores conocimientos en áreas muy puntuales que dificultaban el manejo de este. Al realizar la comparativa de resultados entre los dos softwares se evidenció una variación muy leve en los resultados gráficos; lo que permite inferir que si se requiere de un análisis más preciso es conveniente usar un análisis con el software DesingBuilder® (Compañía de software en Stroud, 2022) ya que tiene en cuenta muchos más factores.

- Para la implementación de medidas activas enfocadas en el mejoramiento energético se planteó un análisis en Dialux® (DIAL GmbH Lüdenscheid, 2023), en este se identificó el tipo de iluminación más adecuada y óptima para una edificación, dando como resultado al final del modelado y diseño un documento con los diferentes medidas que se están cumpliendo (Ej.: Deslumbramiento), además del tipo de luminarias utilizadas, consumo y distribución por habitaciones; es de resaltar que el programa ofrece algunas referencias de luminaria que se encuentran en el mercado nacional y que cumplen los niveles, coeficientes y rangos de iluminación establecidos por la Resolución 180540 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía.
- Para la implementación de medidas de construcción sostenible y la metodología BIM se hace esencial definir los requerimientos de información y planear la producción de la información antes de realizar las simulaciones de sostenibilidad tal y como se propone mediante el flujo de procesos.

6. Limitaciones y recomendaciones para futuros estudios

- La principal limitación se presenta en que el estudio solo se basó en la literatura, por tanto, los estudios posteriores deben validar estas medidas mediante un panel de expertos.
- Una limitación que influyó durante la investigación es la baja documentación y estudios que se encontraron evidenciando la correlación entre las medidas sostenibles y la etapa de pre-planeación en Colombia, por lo que la información obtenida en la revisión bibliográfica corresponde principalmente a contextos de otros países.
- Con el fin de considerar los distintos tipos de edificaciones, se recomienda para futuras investigaciones tener en cuenta tanto proyectos VIS y No VIS, en los cuales podrían incluir más medidas en la construcción sostenible.
- Para futuras investigaciones, se recomienda profundizar en las diferentes medidas de construcción sostenible y los softwares disponibles para realizar las simulaciones.
- Este estudio se limitó a la identificación de medidas de construcción sostenible, por lo que estudios posteriores deberían alinear las medidas con la herramienta del PDRI.

Referencias

- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2021). *20220421-Casa-Colombia-VIS-1.1_unlocked. 1.1*, 1–116.
- Anexo Técnico Código de construcción sostenible en Colombia Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.* (2013).
- Autodesk. (2021). *Revit 2021* (1.7).
- Calidad en la Vivienda de Interés Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial Libertad y Orden.* (2022).
- Cattano, C., Valdes-Vasquez, R., Plumblee, J. M., & Klotz, L. (2013). Potential Solutions to Common Barriers Experienced during the Delivery of Building Renovations for Improved Energy Performance: Literature Review and Case Study. *Journal of Architectural Engineering*, *19*(3), 164–167. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000126](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000126)
- Chang, A. P., Chu, T. J., Hwang, C. L., & Lin, J. D. (2015a). Study of PDRI for the project management of intelligent green building. *Journal of Quality*, *22*(4), 299–320. [https://doi.org/10.6220/joq.2015.22\(4\).02](https://doi.org/10.6220/joq.2015.22(4).02)
- Chang, A. P., Chu, T. J., Hwang, C. L., & Lin, J. D. (2015b). Study of PDRI for the project management of intelligent green building. *Journal of Quality*, *22*(4), 299–320. [https://doi.org/10.6220/joq.2015.22\(4\).02](https://doi.org/10.6220/joq.2015.22(4).02)
- Compañía de software en Stroud. (2022). *DesignBuilder* (No. 7).
- Construcción sostenible y vivienda VIS en Colombia oportunidades y retos.* (2020). <https://acortar.link/yEnUsX>
- Créditos de Vivienda | Davivienda Colombia.* (2021). <https://acortar.link/OenlmN>

- De Colombia, R. (2022). *Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial*.
- DIAL GmbH Lüdenscheid. (2023). *DIALuxevo* (No. 11).
- Edge. (2021). *Versión 3.0a*. 1–317.
- EDGE App*. (2023). <https://acortar.link/vkzoU1>
- EPA. (2010). *U.S. Environmental Protection Agency US EPA*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/>
- Estudios de Proyecto - Edificios EDGE*. (2021). <https://edgebuildings.com/project-studies/>
- ICONTEC e-Collection*. (2021, February 17). NTC-ISO 19650-1. <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?ID=79922>
- Kang, Y., Kim, C., Son, H., Lee, S., & Limsawasd, C. (2013). Comparison of Preproject Planning for Green and Conventional Buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(11). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000760](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000760)
- Khun-Anod, K., & Limsawasd, C. (2019). Pre-project planning process study of green building construction projects in Thailand. *Engineering Journal*, 23(6), 67–81. <https://doi.org/10.4186/ej.2019.23.6.67>
- LEED project profiles | U.S. Green Building Council*. (2023). <https://acortar.link/rVqM5w>
- Ministerio de Vivienda. (2015). *Resolución 549*.
- Mneimneh, F., Srour, I., Kaysi, I., & Harb, M. (2017). Eco-City Projects: Incorporating Sustainability Requirements during Pre-Project Planning. *Journal of Urban Technology*, 24(1), 47–74. <https://doi.org/10.1080/10630732.2016.1175828>
- PDRI: Project Definition Rating Index-Building Projects*. (2008). <http://construction-institute.org/catalog.htm>

- Pradhananga, P., Elzomor, M., & Santi Kasabdji, G. (2021). Barriers and Drivers to the Adoption of Sustainable Construction Practices in Developing Countries: A Case Study of Venezuela. *Journal of Architectural Engineering*, 27(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000483](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000483)
- Precios de la certificación EDGE - Edificios EDGE.* (2023). <https://edgebuildings.com/certify/certifiers-pricing/edge-certification-pricing/#certifier-sintali>
- Profesionales Casa - CASA Colombia.* (2023). <https://casa.cccs.org.co/profesionales-casa/>
- Proyectos Casa sostenibles - CASA Colombia.* (2023). <https://casa.cccs.org.co/proyectos-casa/>
- Resolución 180540.* (2010). 77–115.
- Rosenbaum, S., Toledo, M., & González, V. (2013). *Improving Environmental and Production Performance in Construction Projects Using Value-Stream Mapping: Case Study.* [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862)
- Sistema de clasificación LEED Consejo de construcción ecológica de EE. UU.* (2023). <https://www.usgbc.org/leed>
- Son, H., Lee, S., & Kim, C. (2015). An Empirical Investigation of Key Pre-project Planning Practices Affecting the Cost Performance of Green Building Projects. *Procedia Engineering*, 118, 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.401>
- Sura promueve construcciones amables con el medioambiente - Seguros Sura Colombia.* (2018). <https://acortar.link/9ZMW95>
- Susunaga. (2014). construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interes social y prioritario. *Universidad Católica de Colombia* , 1–55.

Tasas de certificación LEED Consejo de construcción ecológica de EE. UU. (2023).

<https://www.usgbc.org/tools/leed-certification/fees>

Weerasinghe, G., Soundararajan, K., & Ruwanpura, J. LEED-PDRI Framework for pre-project planning of sustainable building projects. In *Number* (Vol. 2).

http://meridian.allenpress.com/jgb/article-pdf/2/3/123/1766927/jgb_2_3_123.pdf

Weerasinghe, G., Soundararajan, K., & Ruwanpura, J. (2022). leed-pdri framework for pre-project planning of sustainable building projects. In *Number* (Vol. 2).

http://meridian.allenpress.com/jgb/article-pdf/2/3/123/1766927/jgb_2_3_123.pdf

Williams, T., Vo, H., Samset, K., & Edkins, A. (2019). The front-end of projects: a systematic literature review and structuring. *Production Planning and Control*, 30(14), 1137–1169.

<https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1594429>