

**SISTEMA CONSTRUCTIVO SOSTENIBLE CONSIDERANDO LAS
CONDICIONES PARTICULARES DE COLOMBIA**

MARIA PAULA LIZARAZO SANABRIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2020**

**SISTEMA CONSTRUCTIVO SOSTENIBLE CONSIDERANDO LAS
CONDICIONES PARTICULARES DE COLOMBIA**

MARIA PAULA LIZARAZO SANABRIA

Trabajo de grado para optar título de ingeniero civil

Director:

Ricardo A. Cruz Hernández

Ingeniero Civil, PhD. Tech

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2020

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a mi familia, quienes fueron mi apoyo incondicional desde que comencé mi carrera para cada vez ser mejor, tanto profesional como persona. También, a mi director de proyecto de grado, quien me guio de la mejor manera para poder elaborar el presente trabajo. Igualmente, a las personas que me acompañaron a lo largo de mi proceso de aprendizaje por su apoyo, compañía y amistad.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL MUNDO.....	15
2.1. CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA	19
2.2. ROL DE LAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	20
3. LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.....	22
3.1. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES	22
3.2. TECNOLOGÍAS EN USO E INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.....	25
3.3. SITUACIÓN ACTUAL	28

4. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA Y SOSTENIBLE EN COLOMBIA.....	31
4.1. ASPECTOS FAVORABLES DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA Y SOSTENIBLE	32
4.1.1. Ambientales	32
4.1.2. Sociales	32
4.1.3. Económicas	33
4.1.4. Técnicas	33
4.1.5. Gubernamentales	34
4.2. ASPECTOS POR SUPERAR PARA LA APLICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA.....	35
4.2.1. Falta de Apoyo Financiero del Gobierno.....	35
4.2.2. Códigos de Construcción Regulan Sistemas Tradicionales.....	35
4.2.3. Falta de Liderazgo en la Industria de la Construcción:	36
4.2.4. Temor a Mayores Costos de Inversión.	36
4.2.5. Falta de Materiales Ambientalmente Sostenibles	37
4.2.6. Falta de Conocimiento/Conciencia en los Profesionales	37

5.	CONCLUSIONES	39
6.	RECOMENDACIONES	41
	BIBLIOGRAFÍA.....	43

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Factores de crecimiento de la construcción sostenible a nivel mundial 17

Tabla 2. Barreras de la construcción sostenible a nivel mundial..... 18

Tabla 3. Comparación sistemas industrializados con otros sistemas27

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Nivel de prefabricación	19
Figura 2. Matriz Impacto-Probabilidad de nuevas tecnologías	21
Figura 3. Sistemas Constructivos Tradicionales	24
Figura 4. Área iniciada de vivienda según sistema constructivo [m2]	25
Figura 5. Sistemas Constructivos Industrializados.....	26
Figura 6. Distribución municipal del déficit habitacional.....	29
Figura 7. Comparación de la industria en diferentes países	30

RESUMEN

TÍTULO: SISTEMA CONSTRUCTIVO SOSTENIBLE CONSIDERANDO LAS CONDICIONES PARTICULARES DE COLOMBIA *

AUTOR: MARIA PAULA LIZARAZO SANABRIA**

PALABRAS CLAVE: CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA, SISTEMAS CONSTRUCTIVOS, BIM, MODULAR.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente se evidencia en los países desarrollados la tendencia en el uso de materiales y sistemas constructivos más eficientes y amigables con el medio ambiente como el caso de Japón y China, cuyos métodos constructivos sobresalen con el uso de nuevas tecnologías para un mayor control de procesos, calidad y tiempos. Contrario a esto, la construcción en Colombia sigue presentando problemas en tiempos de entrega, sobrecostos y materiales de baja calidad, debido principalmente que se construye con sistemas constructivos tradicionales, aspectos que se agudizan por el creciente déficit habitacional. En el presente artículo se realiza un análisis en el que se muestra inicialmente un panorama general de la construcción sostenible en el mundo en el que se expone el sistema constructivo más eficiente, con menor impacto ambiental y de mayor control al igual que tecnologías que lo complementan. Seguido de la situación actual de la construcción en Colombia y las necesidades que en él se presentan, para luego presentar las condiciones favorables y las barreras para la implementación de una construcción sostenible en el país, y finalmente exponer las condiciones necesarias que se requieren para impulsar la construcción industrializada como punto de innovación y desarrollo, que pueda conducir a establecer una construcción sostenible en el país.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ph.D. Tech Ricardo Alfredo Cruz Hernández.

ABSTRACT

TITLE: SUSTAINABLE CONSTRUCTION SYSTEM CONSIDERING THE SPECIFIC CONDITIONS OF COLOMBIA*

AUTHOR: MARIA PAULA LIZARAZO SANABRIA**

KEY WORDS: SUSTAINABLE CONSTRUCTION, INDUSTRIALIZED CONSTRUCTION, CONSTRUCTION SYSTEMS, BIM, MODULAR.

DESCRIPTION:

Currently, the trend in the use of more efficient and environmentally friendly materials and construction systems is evident in developed countries, such as Japan and China, whose construction methods stand out with the use of new technologies for greater process control, quality and times. Despite this, construction in Colombia presents continuously problems in delivery times, cost overruns and low-quality materials, mainly due to the use of traditional constructions systems, aspects that are increased by the growing house deficit. In this article an analysis is carried out to show a general view of sustainable construction in the world in which the most efficient construction system is exposed, with less environmental impact and greater control, as well as technologies that complement it. Followed by the current construction situation in Colombia and the needs that arise in it, then presents the favorable conditions and barriers for the implementation of a sustainable construction in the country. Finally, the necessary conditions are exposed, that are required to promote industrialized construction as a point of innovation and development, and in turn, a possible solution to the problems that arise in the country.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physical-mechanical. School of Civil Engineering. Director: Ph.D. Tech Ricardo Alfredo Cruz Hernández

INTRODUCCIÓN

Indudablemente la industria de la construcción aporta significativamente al desarrollo de la sociedad, satisfaciendo las necesidades de ella y generando un aporte a la economía a través de la generación de numerosos puestos de trabajo y el enlace permanente con otros sectores de la economía, permitiendo el crecimiento de estos dentro de un país. No obstante, la industria de la construcción es responsable entre el 35-40% de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, del 40% del consumo de los recursos naturales, del 40% de los desperdicios sólidos producidos, del 40% de la energía producida y del 16% del consumo de agua en todo el mundo¹. Lo anterior se debe, principalmente, por los sistemas constructivos tradicionales utilizados en el mundo, al igual que en Colombia, caracterizados por la baja productividad en obra, calidad poco confiable, alto consumo de recursos y energía, frecuentes accidentes laborales e importante contaminación ambiental ² ³. Además, el desperdicio de materiales y los bajos rendimientos aumentan los costos y retrasos de la construcción.

En los países desarrollados, se viene observando una constante tendencia a la implementación de una construcción sostenible. Según Naciones Unidas la construcción sostenible es una forma para que la industria de la construcción

¹ ROTHBUCHER THOMAS, Natasha Ilse and BASTOS COSTA, Dayana, 'Adoption of Environmental Practices on Construction Sites', *Ambiente Construído*, 17.4 (2017), 9–24 <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400182>>.

² BORJEGHALEH, Reza Mohajeri and SARDROUD, Javad Majrouhi, 'Approaching Industrialization of Buildings and Integrated Construction Using Building Information Modeling', *Procedia Engineering*, 164 (2016), 534–41 <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.655>>.

³ ZHANG, Jinyue and others, 'BIM-Enabled Modular and Industrialized Construction in China', *Procedia Engineering*, 145 (2016), 1456–61 <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.183>>.

avance hacia el logro de un desarrollo sostenible, teniendo en cuenta las necesidades ambientales, socioeconómicas y culturales. Involucra cuestiones como el diseño y la gestión, los materiales y el rendimiento, y el consumo de energía y recursos, dentro de la órbita más amplia del desarrollo y la gestión urbana. Se puede afirmar que la construcción sostenible cubre una lista muy amplia de asuntos: desde la creación de la edificación sostenible y su entorno hasta la solución de problemas socioeconómicos ⁴. Todos los materiales utilizados en la construcción tienen algún impacto en el medio ambiente, sin embargo, los factores más importantes para lograr una construcción más sostenible son: el cómo se utilizan estos materiales para construir edificaciones y el cómo se comportan esos edificios durante su vida útil ⁴. Dentro de estas mismas tendencias encaminadas a una construcción sostenible surge el sistema de construcción industrializada como representante insignia para su desarrollo.

En el caso de Colombia, el sector de la construcción tuvo una variación anual de 2,6% del PIB en el 2019, decreciendo 0.1% respecto al año anterior ⁵ ⁶. Adicionalmente, se cuenta con un déficit habitacional de aproximadamente 5.144.445 hogares sobre el total de 14.060.645 en el país, lo cual representa el 36.6% ⁷, que difícilmente puede llegar a cubrirse mediante sistemas de

⁴ ŠAPARAUSKAS, Jonas, 'The Main Aspects Os Sustainability Evaluation in Construction', *Vilnius Gediminas Technical University*, December, 2017, 1–10 <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52578-5_1>.

⁵ DANE, *Boletín Técnico: Indicadores Económicos Alrededor de La Construcción (IEAC) I Trimestre de 2019* (Bogotá, Colombia, 2019) <www.dane.gov.co>.

⁶ DANE, *Boletín Técnico: Producto Interno Bruto (PIB) IV Trimestre 2019*, Dane (Bogotá, Colombia, 2020) <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IVtrim19_produccion_y_gasto.pdf>.

⁷ DANE, *Boletín Técnico: Déficit Habitacional CNPV 2018* (Bogotá, Colombia, 2020) <www.dane.gov.co>.

construcción tradicionales y sin propuestas de innovación en materiales y procesos. Esto, sin restarle importancia a la corrupción presente, que, según Transparencia Internacional, Colombia se ubica en el Top Cinco de los países con percepción de corrupción en Latinoamérica; gran parte de esta corrupción presente en las instituciones del estado y atribuible a la falta de instrumentos y control en las obras gubernamentales desarrolladas con los sistemas de construcción tradicionales.

Con el presente trabajo se busca recopilar datos existentes de sistemas de construcción sostenible en el mundo, analizar el estado actual de la construcción en Colombia, y plantear las condiciones necesarias para impulsar la construcción industrializada y sostenible en Colombia.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar un sistema constructivo teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad relacionados con materiales, procesos, nuevas tecnologías e incentivos gubernamentales para Colombia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer que sistemas constructivos, materiales, tecnologías y reglamentación son implementados actualmente en Colombia.
- Identificar los sistemas constructivos que se ejecutan a nivel mundial que tienen que ver con proyectos de construcción sostenibles mediante la revisión bibliográfica.
- Identificar las condiciones necesarias que deberían implementarse en Colombia para lograr la aplicación de un sistema constructivo con criterios de sostenibilidad.

2. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL MUNDO

El concepto de construcción sostenible se ha introducido principalmente en los países desarrollados, mientras que dentro de países en desarrollo no ha tenido la suficiente importancia ⁸. Cuando se habla de construcción sostenible respecto a los sistemas constructivos a nivel mundial, se resalta la implementación de construcción industrializada, comparándola con los diferentes sistemas constructivos tradicionales empleados en los diferentes países.

Japón es el primer país del mundo en lograr la construcción residencial industrializada; su industria de la construcción altamente desarrollada depende de su sistema de construcción prefabricada en la cadena de producción. En toda la cadena de construcción industrializada, hay tres partes internas principales: el desarrollador, las empresas procesadoras de componentes prefabricados y la empresa constructora, así como dos entidades externas: el gobierno y las instituciones de investigación y desarrollo tecnológico ⁹.

China, el mercado de la construcción más grande del mundo aumentará continuamente en las próximas dos o tres décadas, y la nueva área de vivienda en los próximos treinta años será de 20-30 mil millones de metros cuadrados. El objetivo fijado por el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Rural Urbano es que más del 50% de todos los proyectos de vivienda (y más del 60% de los proyectos de

⁸ AMETEPEY, Ofori, AIGBAVBOA, Clinton and ANSAH, Kwame, 'Barriers to Successful Implementation of Sustainable Construction in the Ghanaian Construction Industry', *Procedia Manufacturing*, 3.Ahfe (2015), 1682–89 <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.988>>.

⁹ LIANG, Wang and ZHANG, Shoujian, 'Analysis on the Main Relationship in Industrial Chain of Industrialized Building', *ASCE*, 2017, 364–74.

vivienda asequible) se construyan mediante construcción modular e industrializada para finales del 2020 ¹⁰.

El gobierno de Singapur aspira a ser una ciudad global líder en la creación de un entorno construido sostenible. Singapur, por lo tanto, ha implementado diversas iniciativas y normativas como la Construcción Sostenible Master Plan 2008, Singapore Green Plan 2012, Green Mark Scheme y sistema de gestión ambiental para fomentar la construcción sostenible. El foco de estas iniciativas se ha centrado no solo en la eficiencia energética, sino también en un enfoque adoptado para fomentar el respeto al medio ambiente en edificios, para asegurar que la calidad ambiental y el confort no sean comprometida ¹¹.

En la Tabla 1 se presentan los factores de crecimiento de la construcción sostenible a nivel mundial, en donde se muestran los puntos clave que ayudan a su desarrollo en un país, siendo en común factores como la eficiencia energética, la demanda por parte del cliente y las normativas.

Igualmente, en la

Tabla 2 se presentan las barreras de la construcción sostenible a nivel mundial, resaltando principalmente la falta de conocimiento por parte del cliente y los involucrados en los proyectos, al igual que los altos costos comparados con los métodos tradicionales.

¹⁰ ZHANG and others.

¹¹ YIN, Belle Chua Lee and others, 'An Evaluation of Sustainable Construction Perceptions and Practices in Singapore', *Sustainable Cities and Society*, 39.December 2017 (2018), 613–20 <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.024>>.

Tabla 1. Factores de crecimiento de la construcción sostenible a nivel mundial

Ubicación	Factores de Crecimiento
Corea	Eficiencia energética, calidad ambiental interior, gestión de residuos, entorno ecológico, costo del ciclo de vida, gestión del conocimiento, retención de mano de obra calificada, innovación, bienestar, comunidad, calidad del servicio, salud y seguridad.
Chile	Normativas, conciencia de empresa, imagen corporativa, demanda de clientes, reducción de costes, diferenciación de mercado, proveedores.
Grecia	Conservación de energía, reducción de desechos, calidad ambiental interior, conservación de recursos, programas de incentivos, estándares basados en el desempeño, regulaciones de uso del suelo y políticas de planificación urbana, educación y capacitación, reingeniería del proceso de diseño, materiales de construcción sustentable, nuevas métricas de costos basadas en sistemas de valores económicos y ecológicos, innovación y/o certificación de productos.
Estados Unidos	Conservación de energía, mejora de la calidad del medio ambiente interior, conservación del medio ambiente/recursos y reducción de residuos.
Finlandia	Desarrollo de la conciencia de los clientes sobre los beneficios de la construcción sostenible, el desarrollo y adopción de métodos para la gestión de requisitos de construcción sostenible, la movilización de herramientas de construcción sostenible, el desarrollo de la competencia de los diseñadores y el trabajo en equipo, y el desarrollo de nuevos conceptos y servicios.
Hong Kong	Tecnología y técnicas verdes, confiabilidad y calidad, liderazgo y responsabilidad, participación de partes interesadas, sistemas de guía y evaluación comparativa.
Reino Unido	Conciencia del cliente, normativa de construcción, demanda del cliente, incentivos financieros, inversión, planificación, política, impuestos/gravámenes.

Fuente: ¹²

¹² DURDYEV, Serdar and others, 'Sustainable Construction Industry in Cambodia: Awareness, Drivers and Barriers', *Sustainability (Switzerland)*, 10.2 (2018), 1–19 <<https://doi.org/10.3390/su10020392>>.

Tabla 2. *Barreras de la construcción sostenible a nivel mundial*

Ubicación	Barreras
Canadá	Falta de consideración de los criterios de sostenibilidad en la evaluación de las ofertas, falta de disponibilidad de estándar para la contratación, falta de conocimiento de las condiciones locales, falta de requisitos legales explícitos de contratación sostenible.
Malasia	Falta de conciencia sobre la construcción sostenible, falta de formación y educación, mayor costo de opciones de construcción sostenible, problemas de adquisición, barreras regulatorias, falta de capacidades profesionales, factores desincentivos para la producción de material local, falta de estudios de casos/ejemplos.
Chile	Falta de incentivos financieros, los diseñadores trabajan solos, necesidades económicas de mayor prioridad, costos ambientales no incluidos en la estructura de costos, burocracia gubernamental, falta de conocimiento sobre tecnologías sostenibles, falta de preocupación ambiental, asequibilidad.
Estados Unidos	Prima el costo inicial del proyecto, largos períodos de recuperación, tendencia a mantener las prácticas actuales, conocimientos limitados de los subcontratistas.
Finlandia	Mecanismos de dirección, economía, falta de comprensión del cliente, proceso (contratación y licitación, tiempo, cooperación y trabajo en red) y conocimiento subyacente (conocimiento y lenguaje común, disponibilidad de métodos y herramientas, innovación).
Reino Unido	Asequibilidad, regulaciones de construcción, falta de conciencia del cliente, falta de comprensión del caso de negocios, falta de demanda del cliente, falta de tecnologías alternativas probadas, falta de un solo estándar de medición, política de planificación.

Fuente: ¹³

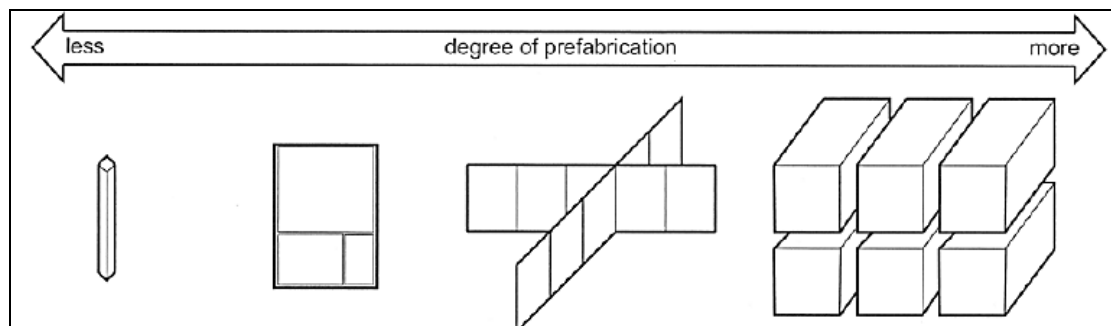
¹³ DURDYEV and others.

2.1. CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

Una definición integral de construcción industrializada establece que, se centra en la estandarización del diseño, la prefabricación masiva de componentes de construcción y la mecanización de la construcción en el sitio. Los componentes de construcción se producen en la fábrica y luego se prueban para varios aspectos de control de calidad y se envían al sitio de construcción. En este método, el volumen de operaciones de construcción en el sitio de construcción se reduce mientras se aumenta la tasa de producción en la fábrica. De hecho, la industrialización de edificios es un proceso preciso que considera los elementos de gestión del tiempo, costos y estándares de calidad para la producción en masa ^{14 15}.

El nivel de prefabricación se puede distinguir en tres categorías: componentes, paneles y módulos. A nivel de componentes, se entiende como un elemento singular como una puerta o ventana. A nivel de panel, se entiende como elementos tipo muros o placas que pueden contener implícitos componentes. Para referirnos al nivel de módulos, se contemplan todos los componentes y paneles que juntos conforman un espacio específico como una habitación, oficina, baño entre otros ¹⁶.

Figura 1 - Nivel de prefabricación



Fuente: Wu, Shen-hua, 'Use of BIM and Prefabrication to Reduce Construction Waste' (University of Washington, 2017)

¹⁴ BORJEGHALEH and SARDROUD.

¹⁵ ZHANG and others.

¹⁶ WU, Shen-hua, 'Use of BIM and Prefabrication to Reduce Construction Waste' (University of Washington, 2017).

2.2. ROL DE LAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

La adopción en la mayoría de los países desarrollados de la metodología BIM se ha visto como una forma de acelerar el crecimiento de la construcción industrializada tanto en el ámbito técnico como de gestión. Las prácticas recientes en China han demostrado que las innovaciones en el diseño modular, la detección de conflictos y el estudio de constructibilidad realizado por modelos BIM, facilitan el proceso de fabricación, la gestión de la fabricación mediante los datos recuperados de los modelos BIM y el uso de tecnología de escaneo láser 3D para garantizar información geométrica precisa de los sistemas MEP. La implementación de BIM en la industria de la construcción en un futuro próximo, descubrirá más beneficios de la tecnología modular y construcción industrializada, como conservación de materiales, mayor calidad de construcción, menor tiempo de construcción y un entorno de trabajo más seguro ¹⁷.

Una encuesta realizada para el Foro Económico Mundial muestra que BIM y la prefabricación de los componentes de las edificaciones eran las dos tecnologías principales que los participantes creían que tendrían el mayor impacto y es probable que se materialicen como se muestra en la Figura 2 ¹⁸.

¹⁷ ZHANG and others.

¹⁸ WU.

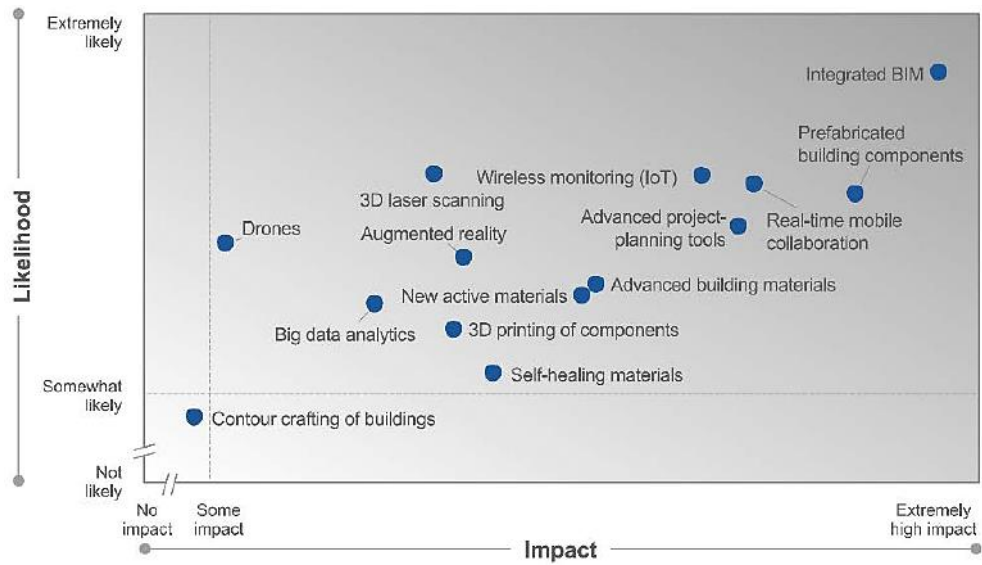


Figura 2. Matriz Impacto-Probabilidad de nuevas tecnologías

Fuente: Wu, Shen-hua, 'Use of BIM and Prefabrication to Reduce Construction Waste' (University of Washington, 2017)

LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA

En el caso de Colombia, el sector de la construcción se encuentra rezagado comparado a la mayoría de los países, ya que se observa una clara improvisación en la mayoría de los proyectos, además del uso de metodologías tradicionales de la construcción y la no innovación. Esta actividad ha tenido varios altibajos que siempre afectan a la economía del país ¹⁹. La información detallada se encuentra más adelante.

2.3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES

De manera general, un sistema es el conjunto de partes que se relacionan entre sí para cumplir con un objetivo específico. De manera análoga, un sistema constructivo es el conjunto de elementos, materiales, equipos, proceso, entre otros, que permite la construcción de una edificación o una obra de infraestructura. El sistema constructivo se implementa para lograr el sistema de resistencia de cargas actuantes sobre la estructura, o para el cerramiento de los espacios o para las instalaciones técnicas. Para la construcción del sistema estructural se han implementado diversos materiales (madera, acero, concreto) y configurar variados sistemas: i. Muros de carga en mampostería o concreto ii. Vigas y columnas de concreto fundido en sitio o de acero armadas en sitio iii. Placas de entrepiso en concreto o compuestas de acero y concreto o con aligeramientos de plástico, arcilla o mortero. En la construcción de la estructura de cerramiento se utiliza mampostería, ventanería, muros de fibro cementos, etc. Los procesos usados en

¹⁹ MEJIA MARTINO, Marlon Esteban, 'Componentes Alternativos Para La Producción de Concreto En La Construcción de Vivienda Ambientalmente Sostenible' (EAFIT, 2011) <<https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7243/6.marcoTeorico.pdf?sequence=6&isAllowed=y>>.

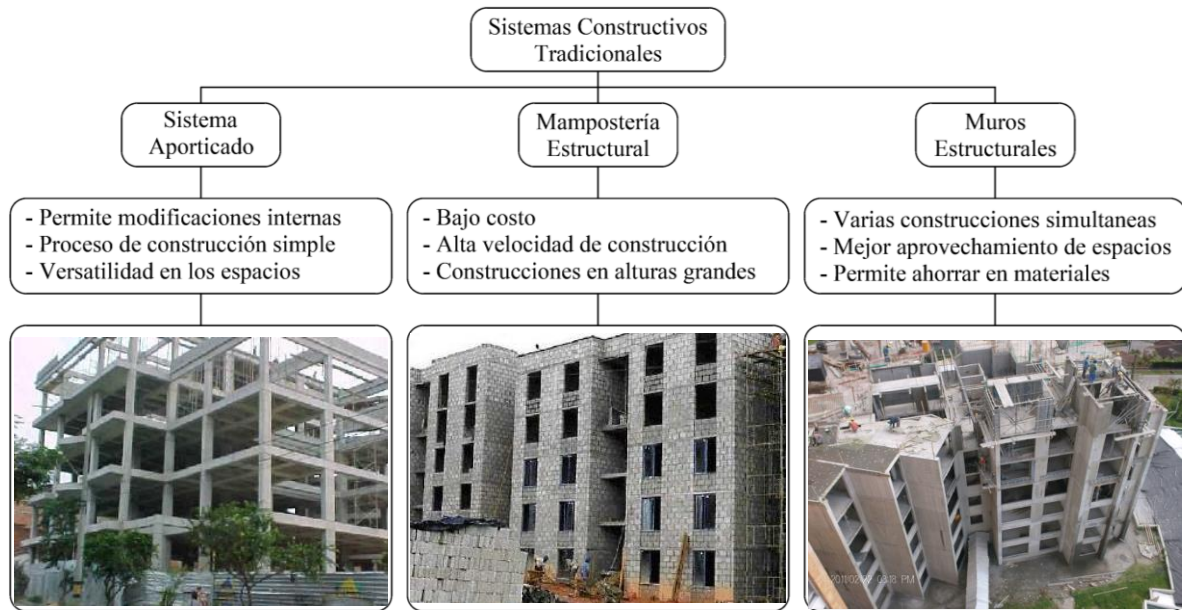
la construcción tradicional, normalmente, adolecen de un grado de mecanización, se realizan en sitio y, muy raramente, son susceptibles de estandarizar.

Los sistemas constructivos en nuestra región se han basado de manera casi predominante (hasta principios del siglo XX), de estructuras con muros, principalmente muros de mampostería, estos hacían al mismo tiempo la función de cerramientos verticales, tanto de fachada como de partición interior. A finales del siglo XIX se mostraron los primeros intentos para el abandono de las estructuras descritas, todo esto para dar paso a los perfiles metálicos, debido a su peso y su resistencia. Aunque al final este tipo de estructuras no son predominantes en el país, ayudó a la imposición de las estructuras aporticadas, ya que se aligera el edificio, reduciendo su costo y aprovechando más el metro cuadrado de suelo utilizado ²⁰.

En la Figura 3 se presentan los sistemas constructivos tradicionales más utilizados en Colombia, con sus beneficios en su aplicación, tal como su bajo costo de aplicación y solución de problemas durante su ejecución ya que los 3 sistemas expuestos son realizados en el sitio.

²⁰ SERNA PULGARÍN, Carlos Andrés and STUART CONTRERAS, Luís Fernando, 'Análisis Económico de La Mampostería Postensada En Seco versus Actiales Soluciones de Vivienda de Interés Social En Colombia' (UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN, 2010).

Figura 3. Sistemas Constructivos Tradicionales



Fuente: *Elaboración propia a partir de ²¹, ²², ²³ y ²⁴.*

De acuerdo con los datos obtenidos por el DANE ²⁵ ²⁶ ²⁷, es posible afirmar que en el país es predominante el sistema de mampostería, pero igualmente, la industrialización ha ido en aumento a lo largo de los años (Ver Figura 4). Se puede observar incluso, que la proyección en los próximos años es que estos sistemas predominen en la industria del país, lo cual es importante para su desarrollo.

²¹ DANE, *Boletín Técnico: Indicadores Económicos Alrededor de La Construcción (IEAC) I Trimestre de 2019.*

²² DANE, *Boletín Técnico: Producto Interno Bruto (PIB) IV Trimestre 2019.*

²³ DANE, *Boletín Técnico: Déficit Habitacional CNPV 2018.*

²⁴ PULGARÍN and CONTRERAS.

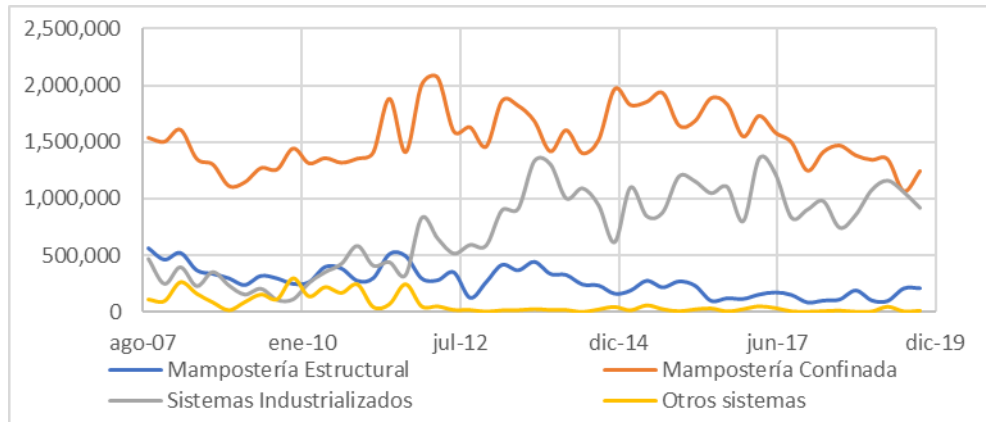
²⁵ DANE, *Boletín Técnico: Indicadores Económicos Alrededor de La Construcción (IEAC) I Trimestre de 2019.*

²⁶ DANE, *Boletín Técnico: Producto Interno Bruto (PIB) IV Trimestre 2019.*

²⁷ DANE, *Boletín Técnico: Déficit Habitacional CNPV 2018.*

Es importante destacar que, el sector donde más se proyecta esta industrialización es sobre las viviendas de interés social, ya que es posible lograr una construcción en serie con excelentes rendimientos y bajos costos ²⁸.

Figura 4. Área iniciada de vivienda según sistema constructivo [m2]



Fuente: Elaboración propia a partir de ²⁹ ³⁰ y ³¹.

2.4. TECNOLOGÍAS EN USO E INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción a través de sistemas industrializados permite una adecuada planeación de las actividades y presupuesto, además de una selección acertada de equipos y materiales, estos generan elevados rendimientos de obra y mejoran el aprovechamiento de recursos, utilizando principalmente materiales

²⁸ ROMERO CASTRO, Claudia Yineth, and MOTTA VAQUIRO Edwin, *Manual de Construcción Para Vivienda de Interés Social Con Sistemas Industrializados, En Sistemas Tipo Monoportable y Túnes*, 2016.

²⁹ DANE, *Boletín Técnico: Indicadores Económicos Alrededor de La Construcción (IEAC) I Trimestre de 2019*.

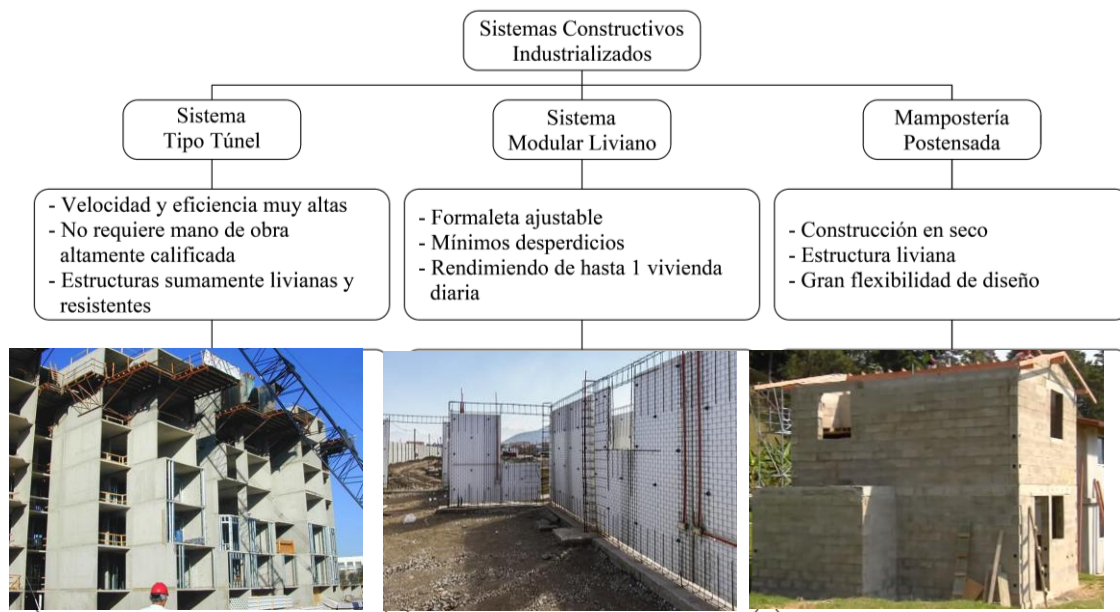
³⁰ DANE, *Boletín Técnico: Producto Interno Bruto (PIB) IV Trimestre 2019*.

³¹ DANE, *Boletín Técnico: Déficit Habitacional CNPV 2018*.

prefabricados construidos en serie (similar a los procesos repetitivos en las fábricas)³².

En Colombia está tomando popularidad estos sistemas por las ventajas mencionadas anteriormente, los principales sistemas constructivos industrializados se muestran en la Figura 5.

Figura 5. Sistemas Constructivos Industrializados



Fuente: Elaboración propia a partir de ³³ y ³⁴.

En la *tabla 3* se comparan los sistemas industrializados con otros sistemas, en el cual se destaca su baja duración, menor cantidad de mano de obra y menores cantidades de material.

³² PULGARÍN and CONTRERAS.

³³ YINETH, Castro, and VAQUIRO.

³⁴ PULGARÍN and CONTRERAS.

Tabla 3. Comparación sistemas industrializados con otros sistemas

Tipo de Sistema	Duración (Días)	Mano de Obra (Personas)
Sistema tradicional	207	45
Mampostería estructural	196	42
Muros vaciados	150	24

Tipo de Sistema	Muros Vaciados	Pórticos
Concreto (m ³ /m ²)	0.27	0.30
Refuerzo (kg/m ²)	18	37

Fuente: ³⁵.

³⁵ YINETH, Castro, and VAQUIRO.

2.5. SITUACIÓN ACTUAL

En el caso de Colombia, además del decrecimiento de la industria en cuanto al PIB, se cuenta con un déficit habitacional, que identifica a los hogares que habitan en viviendas que tienen deficiencias y para las cuales se requiere adicionar nuevas viviendas al stock de viviendas adecuadas, o hacer intervenciones para que las viviendas se encuentren en las condiciones necesarias para garantizar la habitabilidad por parte de los hogares, se pueden observar brechas importantes en la distribución geográfica. Del total de hogares que se tiene en Colombia es de 14.060.645, de los cuales en la región de Orinoquía-Amazonía se observa una concentración de municipios con déficit habitacional mayor al 85%. En contraste, hay una alta concentración de municipios en las regiones Central y Oriental del país para los cuales el déficit habitacional es menor o igual al 35%, lo cual sitúa al país con un déficit habitacional de 5.144.445 lo cual representa el 36,6%, según estadísticas presentadas por el DANE como se presenta en la Figura 6 ³⁶. Por otra parte, para el año 2019 se construyeron 141.656 unidades de vivienda, un 18% menos que el año anterior, según cifras del DANE ³⁷. Es decir, se requerirían aproximadamente, 35 años para cubrir el déficit, sin contar el continuo aumento en la demanda de vivienda, imposibles de cubrir con los métodos tradicionales de construcción.

De acuerdo con los datos obtenidos por el DANE ³⁸, ³⁹ y ⁴⁰, es posible afirmar que en el país es predominante el sistema de mampostería, pero igualmente, la industrialización ha ido en aumento a lo largo de los años (Ver Figura 4). Se puede

³⁶ DANE, *Boletín Técnico: Déficit Habitacional CNPV 2018*.

³⁷ DANE, 'Boletín Técnico Vivienda VIS y No VIS', *I Trimestre de 2020*, 2019, 1–39 <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/vis/bol_vis_IVtrim2018.pdf>.

³⁸ DANE, *Boletín Técnico: Indicadores Económicos Alrededor de La Construcción (IEAC) I Trimestre de 2019*.

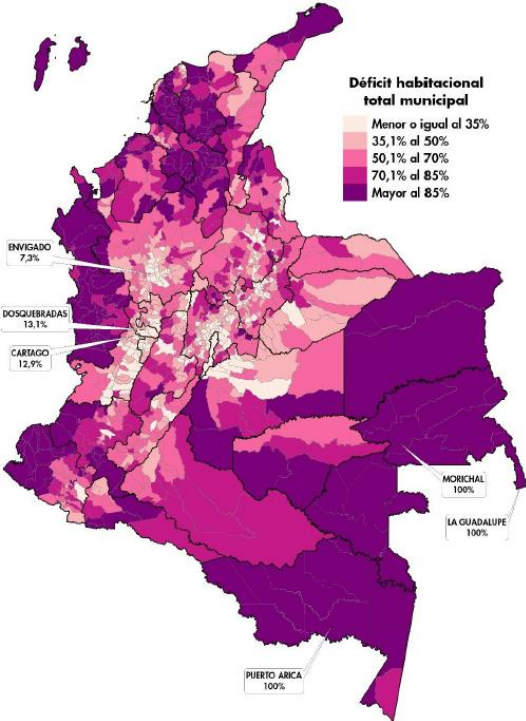
³⁹ DANE, *Boletín Técnico: Producto Interno Bruto (PIB) IV Trimestre 2019*.

⁴⁰ DANE, *Boletín Técnico: Déficit Habitacional CNPV 2018*.

observar incluso, que la proyección en los próximos años es que estos sistemas predominen en la industria del país, lo cual es importante para su desarrollo.

Es importante destacar que, el sector donde más se proyecta esta industrialización es sobre las viviendas de interés social, ya que es posible lograr una construcción en serie con excelentes rendimientos y bajos costos ⁴¹.

Figura 6. *Distribución municipal del déficit habitacional*



Fuente: ⁴².

En la Figura 7 se compara la productividad de la industria en el año 2015; en esta imagen se puede observar que Colombia presenta una baja inversión en esta, además de una baja productividad, en comparación con la mayoría de los países

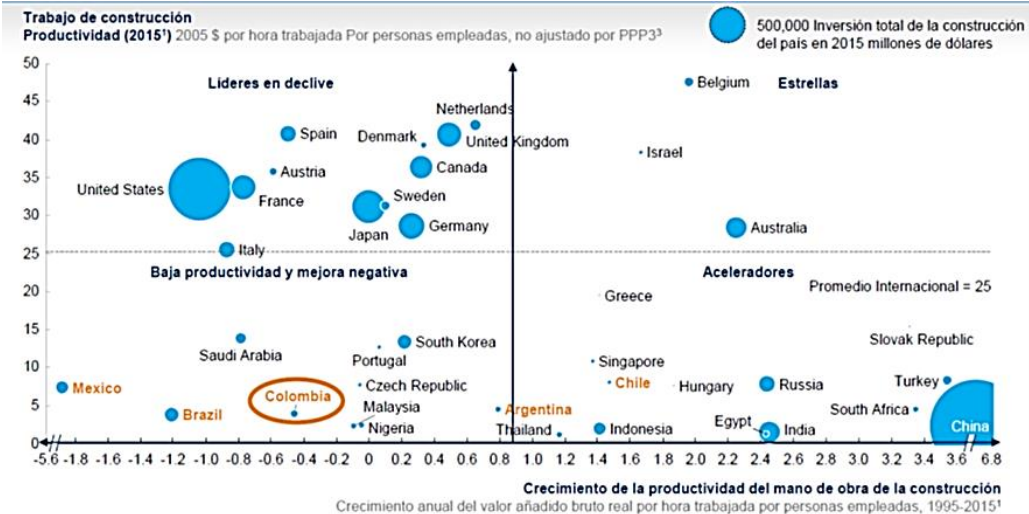
⁴¹ YINETH, Castro, and VAQUIRO.

⁴² DANE, *Boletín Técnico: Déficit Habitacional CNPV 2018*.

comparados ⁴³. Se puede observar a detalle que, Colombia presenta tanto una baja productividad como una mejora negativa en cuanto a la industria.

Los planes de vivienda en Colombia llevan a pensar que la industrialización tiene un panorama prometedor en los años venideros por la cantidad de viviendas que hay que construir y nuevos requisitos que se están discutiendo ⁴⁴.

Figura 7. Comparación de la industria en diferentes países



Fuente: ⁴⁵.

⁴³ COSCULLUELA, José, 'Industrialización En Construcción. Construcción 4.0', in *BIM FORUM Colombia*, 2019.

⁴⁴ YINETH, Castro, and VAQUIRO.

⁴⁵ COSCULLUELA.

3. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA Y SOSTENIBLE EN COLOMBIA

La mejor alternativa presente en las tendencias mundiales y que encaja con el ideal de sostenibilidad presentado y aplicable a Colombia corresponde a la implementación de un sistema constructivo industrializado, caracterizado en que gran parte del trabajo se realiza en ambientes controlados fuera del sitio de ensamblaje y construcción. Contextualizando la situación actual expuesta del país lleva a que las entidades gubernamentales, empresas privadas e interesados deban poner sobre la mesa la posibilidad de optimizar todos los procesos y factores que permitan superar el rezago en productividad, innovación y desarrollo tecnológico sobre el sector de la construcción y de esta manera ser competitivos en el mercado. Igualmente, la disminución del recaudo público implicará una mejor distribución y asignación de los recursos para el desarrollo de obras de bienestar social, siendo un catalizador para emplear la construcción industrializada. Por otro lado, la implementación de un sistema de construcción industrializado ayudaría a disminuir el presente déficit habitacional del país en las zonas apartadas de las grandes ciudades, esto, a través de un mejor manejo de los recursos y control de la producción desde sitios estratégicos fuera de los lugares de construcción, ayudando de igual manera a disminuir los sobrecostos generados por la falta de control y supervisión que se vienen presentando en las obras gubernamentales con los sistemas constructivos tradicionales.

3.1. ASPECTOS FAVORABLES DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA Y SOSTENIBLE

3.1.1. **Ambientales:** Los procesos de construcción tradicionales consumen más energía (basada en carbono), materiales y producen más polvo y residuos que la construcción industrializada, que elimina el desperdicio de material en la fuente, ya que, el proceso de fabricación de detalles es más fácil de lograr en un entorno de taller o mediante la automatización, siendo más eficiente y generando menos desperdicio, para posteriormente ensamblar los componentes prefabricados en el sitio. Además, algunos materiales nuevos respetuosos con el medio ambiente se aplican más fácilmente a los paneles prefabricados que satisfacen la necesidad de ahorro de energía en la etapa de operación, al igual que varios tipos de materiales de desecho de la construcción disponibles para su reciclaje y respetuosos con el medio ambiente ^{46 47 48}.

3.1.2. **Sociales:** Desafortunadamente, en las prácticas actuales de diseño de edificios se han ignorado los aspectos sociales de la sustentabilidad, en otras palabras, los edificios no están diseñados para personas, lo que afecta el bienestar, salud y seguridad, comodidad y satisfacción fisiológica y, en consecuencia, la productividad de un ocupante. En este sentido, el material de construcción seleccionado o el diseño preferido puede ser energéticamente eficiente, rentable y funcionar bien; sin embargo, no debe considerarse como un producto o diseño sostenible si no proporciona suficiente comodidad y mejora la productividad del ocupante. Solo los estudios desde el punto de vista arquitectónico han considerado el aspecto cultural de ser un impulsor de la

⁴⁶ ZHANG and others.

⁴⁷ WU.

⁴⁸ YIN and others.

construcción sostenible, mientras que desde el punto de vista de los demás involucrados fue ignorado. Por lo tanto, se espera que el diseño de edificios sostenibles proporcione condiciones interiores saludables, seguras y cómodas para las personas que los habitan al involucrar todas las partes en el desarrollo sostenible ⁴⁹.

3.1.3. Económicas: Aunque se cree que la adopción de prácticas de construcción sostenible tiene un alto costo inicial, sus beneficios se pueden ver a largo plazo, por ejemplo, la reducción del costo de operación y mantenimiento durante el ciclo de vida de la instalación. La relación calidad-precio en la entrega y retención de mano de obra calificada son otros aspectos económicos para considerar favorables dentro de las ventajas de su implementación. Así mismo, las prácticas de construcción sostenible mejorarán la productividad de la construcción a largo plazo, y una mayor productividad impulsa la entrega más rápida de proyectos de construcción con menor costo y mayor calidad. Cabe resaltar que este tema debe ser estudiado a profundidad para conocer los impactos que generan diversos aspectos sobre los costos totales de una edificación ⁵⁰.

3.1.4. Técnicas: Es necesario establecer que en la construcción modular el proceso de fabricación de los elementos que hacen parte de la edificación se realizan en una fábrica, en el que la mano de obra en el lugar de la construcción disminuye, pero aumenta en el taller, al igual que los profesionales necesarios para el diseño especial y ensamblaje de los elementos modulares y sus conexiones. Dicho personal capacitado en la implementación de nuevas tecnologías innovadoras como el uso de metodologías BIM como herramienta facilitadora de diseño y control de la fabricación. Gracias a esto, se impulsaría

⁴⁹ DURDYEV and others.

⁵⁰ DURDYEV and others.

mayor investigación y desarrollo sobre módulos y prototipos en cuanto a materiales e interferencias con otros sistemas, que serán producidas en masa. Además, el proceso de fabricación en taller puede optimizar los materiales utilizados, ya sea, concreto, metal, madera y materiales compuestos, para fabricar las cantidades de elementos necesarios en un menor tiempo y con controles de fabricación para menor necesidades de material y generar menor desperdicio, los cuales son establecidos según las necesidades particulares de cada proyecto. Con respecto a las necesidades ambientales, existen diferentes softwares y metodologías que ayudan a calcular y reducir el impacto ambiental de la construcción de la edificación, como por ejemplo softwares que calculan el ciclo de vida de la edificación a partir de los materiales implementados, los transportes requeridos y las actividades necesarias para su ejecución, tal como lo hace el software SIMAPRO. También, existen otros métodos de chequeo sostenible como el CREAAM (*Community Requirements for an Equitable Environmental Assessment Method*), SEAM (*Schools Environmental Assessment Method*), *Best Value Sustainability Checklist*, LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), entre otros ^{51 52 53}.

3.1.5. Gubernamentales: El desarrollo de módulos típicos, casas y/o edificios por parte del gobierno con todas las especificaciones necesarias para su fabricación y construcción industrializada, permite asegurar el tiempo, los costos y la calidad de las viviendas de interés social que se desarrollan para intentar disminuir el déficit habitacional presente en el país, y de esta manera disminuir los sobrecostos que se generan por falta de control del gobierno en las obras que se desarrollan. De igual manera, se podrá realizar una interventoría conjunta para

⁵¹ ŠAPARAUSKAS.

⁵² DURDYEV and others.

⁵³ MOHD ALI, Munira and others, 'A Product Life Cycle Ontology for Additive Manufacturing', *Computers in Industry*, 105 (2019), 191–203 <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.12.007>>.

diferentes obras en desarrollo, controlando la calidad y despacho de los módulos producidos en taller, esto, como herramienta adicional para el control del gobierno y evitar la corrupción presente en las obras publicas.⁵⁴

3.2. ASPECTOS POR SUPERAR PARA LA APLICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

3.2.1. Falta de Apoyo Financiero del Gobierno: Se considera que el papel del gobierno en la promoción de prácticas de construcción sostenible es importante. Sin embargo, el gobierno fomenta la construcción sostenible solo en conversaciones y no ofrece ninguna inversión de capital real o ahorro de impuestos para las empresas que desarrollan instalaciones o componentes industrializados ^{55 565758}.

3.2.2. Códigos de Construcción Regulan Sistemas Tradicionales: Los pocos proyectos de construcción sostenible en muchos casos necesitan una revisión y aprobación especial porque algunos métodos de construcción como la construcción industrializada, están más allá de las regulaciones y códigos de diseño y construcción actuales, un claro ejemplo la norma sismo resistente del

⁵⁴ BAMGBADE, J. A. and others, 'Analysis of Some Factors Driving Ecological Sustainability in Construction Firms', *Journal of Cleaner Production*, 208 (2019), 1537–45 <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.229>>.

⁵⁵ ZHANG and others.

⁵⁶ DURDYEV and others.

⁵⁷ OKE, Ayodeji and others, 'Drivers of Sustainable Construction Practices in the Zambian Construction Industry', *Energy Procedia*, 158 (2019), 3246–52 <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.995>>.

⁵⁸ BAMGBADE and others.

2010⁵⁹ que describe las condiciones de diseño para edificaciones construidas con sistemas tradicionales.

3.2.3. Falta de Liderazgo en la Industria de la Construcción: La dirección y el liderazgo de la industria de la construcción y de las organizaciones individuales tienen un papel importante que desempeñar para lograr la implementación exitosa de estrategias innovadoras. El éxito de la implementación de la construcción sostenible radica en el compromiso de los gerentes y líderes en desarrollar e implementar un plan efectivo y proporcionar adecuadamente los recursos y el apoyo necesarios para gestionar los cambios derivados de la implementación. Sin el apoyo, la gestión y el liderazgo en la implementación de la construcción sostenible se pueden enfrentar numerosas dificultades⁶⁰.

3.2.4. Temor a Mayores Costos de Inversión: La influencia de las barreras financieras en la implementación de construcción sostenible ha sido bien reconocida, el temor a mayores costos de inversión, el temor a un período de recuperación prolongado, las preocupaciones de los clientes sobre la rentabilidad, la ignorancia del costo del ciclo de vida y la falta de recursos financieros. El costo financiero adicional de proporcionar medidas para mejorar la sostenibilidad de las obras de construcción revela la renuencia de las empresas constructoras a invertir en diseños / proyectos ambiental, económica y socialmente sostenibles, reafirmando las expectativas a corto plazo de los profesionales de la industria. Aunque está documentado que el beneficio a largo plazo vale el aumento inicial en la inversión, los beneficios a largo plazo percibidos normalmente no se expresan en términos de rendimiento financiero, sino que se centran en los beneficios

⁵⁹ Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10, *NSR-10* (Colombia, 2010).

⁶⁰ AMETEPEY, AIGBAVBOA, and ANSAH.

ambientales y sociales que el desarrollador creía que la tecnología o metodología podría entregar ⁶¹ ⁶².

3.2.5. Falta de Materiales Ambientalmente Sostenibles: La disponibilidad de productos de construcción "ecológicos" de origen local, como el uso de la madera en la elaboración de los elementos prefabricados ⁶³, el uso de materiales reciclados como aditivos en el concreto que reduzcan la necesidad de materiales extraídos, etc., resulta difícil para muchos proyectos de construcción sostenible. En muchos casos, los productos tienen que ser importados de otros lugares, ya sea directamente por el equipo del proyecto o mediante un distribuidor autorizado localmente. La industria de la construcción se considera un sector que tradicionalmente es muy difícil de cambiar, especialmente con respecto a los métodos de construcción practicados y los materiales de construcción utilizados. Esta resistencia al cambio da como resultado una falta de demanda de productos sostenibles por parte de los clientes y las partes interesadas. La falta de demanda de productos sostenibles por parte del cliente es una barrera comúnmente reconocida ⁶⁴ ⁶⁵.

3.2.6. Falta de Conocimiento/Conciencia en los Profesionales: Se identificó la falta de conciencia de los profesionales, la falta de conocimiento profesional, la falta de conciencia de los clientes, la falta de conciencia de los beneficios, el

⁶¹ AMETEPEY, AIGBAVBOA, and ANSAH.

⁶² DURDYEV and others.

⁶³ DAY, Graham, GASPARRI, Eugenia, and AITCHISON, Mathew, *Knowledge-Based Design in Industrialised House Building: A Case-Study for Prefabricated Timber Walls* (Springer International Publishing, 2019), xxiv <<https://doi.org/10.1007/978-3-030-03676-8>>.

⁶⁴ AMETEPEY, AIGBAVBOA, and ANSAH.

⁶⁵ MOHD ALI and others.

desconocimiento o malentendido sobre la sostenibilidad, la falta de educación y conocimiento en diseño sostenible son una barrera para la implementación de la construcción sostenible. La instalación de tecnologías y materiales sostenibles requiere nuevas formas de competencias y conocimientos, ya que, la industria de la construcción está formada por diferentes actores con diferentes opiniones (clientes, consultores y contratistas) que deben venir y trabajar juntos como un equipo para asegurar la finalización exitosa de un proyecto. Por tanto, existe la necesidad de crear y mejorar la conciencia y el conocimiento de la construcción sostenible entre los diversos actores de la industria de la construcción ^{66 67}.

⁶⁶ AMETEPEY, AIGBAVBOA, and ANSAH.

⁶⁷ DURDYEV and others.

4. CONCLUSIONES

Actualmente en Colombia, el potencial de construcción no ha sido muy eficiente para suplir la demanda de vivienda que el país exige, en él se resalta el uso de la mampostería, tanto estructural como confinada, como sistema tradicional pero poco eficaz, ya que su ejecución tiene bajo rendimiento debido a que se realiza en el sitio y sus elementos son de un pequeño tamaño colocados uno por uno. Por otro lado, se han venido usando otros sistemas constructivos más modernos como el uso de losas postensadas, sistema industrializado, sistemas modulares livianos y sistema tipo túnel, pero que su uso no ha sido tan usual y sigue predominando el sistema anteriormente mencionado. Por otro lado, el uso de nuevas tecnologías no prevalece, Colombia sigue mostrando una baja productividad y una mejora casi nula, a pesar que el uso de nuevas metodologías como el BIM tenga ventajas y facilidades para un mayor control de proyectos en cuanto a tiempos, material y costos, esto es debido a la ausencia de facilidades dadas por el gobierno y baja inversión para la aplicación tanto de nuevas tecnologías como nuevas metodologías que generen un desarrollo en la industria de la construcción. Si se han mencionado por parte del gobierno ciertos incentivos para promover un menor impacto ambiental por parte de las constructoras, pero no ha sido suficiente debido a que no se han materializado.

Mientras que en Colombia el desarrollo en la industria de la construcción no ha sido tan eficiente, a nivel internacional si se han presentado mejoras y un gran desarrollo, tanto en tecnologías como en nuevos sistemas constructivos, de los cuales el que mejor presentó los resultados esperados, en control de procesos y calidad, optimización de tiempos y material, y un menor impacto ambiental fue la construcción industrializada. Además de eso, en países como China, Malasia y Chile, mostraron que los incentivos gubernamentales son muy importantes para el desarrollo de una construcción sostenible, tanto en el apoyo a la academia para la

formación integral de los profesionales como en impulsos financieros y monetarios para las empresas de construcción, tal como sucede en Singapur, en el que el gobierno quiere impulsar que sus ciudades sean sostenibles con regulaciones e iniciativas para el progreso de un ambiente constructivo sostenible.

Lo que se ha visto en Colombia, es que ha habido una falta de conocimiento acerca de los nuevos sistemas constructivos y sus impactos ambientales, tanto por la sociedad como de los profesionales, por motivos como estos es que no se ha exigido una innovación en el sector de la construcción. Además de esta problemática, se suma un déficit habitacional preocupante, principalmente en las zonas periféricas en el que el problema es aún mayor, y que con sistemas tradicionales como la mampostería no se alcanzaría a suplir esta problemática en poco tiempo, ya que se ha demostrado que la productividad en Colombia es muy baja y con una mejora casi nula, con una cantidad de 141.656 unidades residenciales culminadas, lo cual requeriría aproximadamente 36 años para cubrir la demanda de vivienda del país. Para añadir a esto, el gobierno nacional no ha impulsado un desarrollo en la construcción, ni para inversión en esta industria para la aplicación de nuevas tecnologías, ni reglamentación suficiente que estimulen la aplicación de nuevos sistemas constructivos sostenibles y menos una inversión en la academia para que los profesionales ligados a la industria de la construcción tenga las capacidades suficientes para el planteamiento y desarrollo de sistemas constructivos como la construcción industrializada, en el que se valoren todos los factores incluyendo el impacto ambiental del proyecto.

5. RECOMENDACIONES

Dadas las condiciones actuales de Colombia, sus necesidades y su producción anual de viviendas es importante tener en cuenta la construcción industrializada como solución sostenible y eficaz a la problemática actual del país, a continuación, se plantean las siguientes condiciones que se podrían implementar en el corto y mediano plazo para acelerar el uso de la construcción industrializada y sostenible en Colombia.

1. Incluir en el pensum académico de las diferentes universidades, asignaturas obligatorias sobre sostenibilidad y sistemas de construcción industrializada, incentivando la investigación y desarrollo de estos temas dentro del país en la próxima generación de profesionales en la industria de la construcción.
2. Agregar reglamentación para la construcción industrializada, estableciendo los parámetros calidad y construcción para este tipo de proyectos a través de entidades como ICONTEC.
3. Crear una norma similar a la Norma Sismo Resistente para el diseño de módulos y elementos prefabricados de construcción a través de ecuaciones y modelos estructurales en software especializados.
4. Fortalecer la implementación de BIM y posteriormente enlazarla en la elaboración de proyectos industrializados, ya que, a través del BIM se puede incentivar la estandarización y optimización de espacios en módulos que trabajen en conjunto.
5. A través de CAMACOL (Cámara Colombiana de la Construcción) y el CCCS (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible) impulsar dentro del sector

público y privado la implementación de construcción industrializada y sostenible mediante capacitaciones, acompañamiento e incentivos gubernamentales a las empresas que desarrollen proyecto de esta índole.

6. Desarrollar proyectos piloto en las obras gubernamentales para fomentar la construcción industrializada y sostenible, estableciendo un tiempo de transición para impartir como requisito el desarrollo de las obras gubernamentales de manera sostenible.

7. Certificación por parte del gobierno a través del CCCS (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible), de materiales verdes utilizados en las construcciones, fijando un porcentaje mínimo de implementación en cada proyecto realizado en el sector público.

8. Definir el grado de industrialización de la construcción de cada proyecto al momento de realizar su planeación, ya que dependiendo de esto se establecen las necesidades con respecto a la mecanización, el tipo de material, el estudio de recuperación de inversión, el tipo de personal necesario para cumplir dicho grado y posteriormente, los estudios suficientes para demostrar el exitoso funcionamiento de la edificación previamente a su ejecución.

Para finalizar es importante resaltar que el problema ambiental de la actualidad es preocupante y alarmante, motivo por el cual, el ser humano debe empezar a ser más consciente frente a la huella de carbón que produce en su vida cotidiana. Como hemos establecido a lo largo de este artículo, la industria de la construcción es un uno de los sectores más importantes para el crecimiento y desarrollo de cada una de las sociedades, es por esto que esta industria debe ser modificada para que el país disminuya su impacto ambiental y avance al igual que los demás países.

BIBLIOGRAFÍA

AMETEPEY, Ofori, AIGBAVBOA, Clinton, and ANSAH, Kwame, 'Barriers to Successful Implementation of Sustainable Construction in the Ghanaian Construction Industry', *Procedia Manufacturing*, 3.Ahfe (2015), 1682–89 <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.988>>

BAMGBADE, J. A., KAMARUDDEEN, A. M., NAWI, M. N.M., ADELEKE, A. Q., SALIMON, Maruf Gbadebo, and AJIBIKE, W. A., 'Analysis of Some Factors Driving Ecological Sustainability in Construction Firms', *Journal of Cleaner Production*, 208 (2019), 1537–45 <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.229>>

BORJEGHALEH, Reza Mohajeri, and SARDROUD, Javad Majrouhi, 'Approaching Industrialization of Buildings and Integrated Construction Using Building Information Modeling', *Procedia Engineering*, 164 (2016), 534–41 <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.655>>

COSCULLUELA, José, 'Industrialización En Construcción. Construcción 4.0', in *BIM FORUM Colombia*, 2019

DANE, *Boletín Técnico: Déficit Habitacional CNPV 2018* (Bogotá, Colombia, 2020) <www.dane.gov.co>

———, *Boletín Técnico: Indicadores Económicos Alrededor de La Construcción (IEAC) I Trimestre de 2019* (Bogotá, Colombia, 2019) <www.dane.gov.co>

———, *Boletín Técnico: Producto Interno Bruto (PIB) IV Trimestre 2019*, Dane (Bogotá, Colombia, 2020) <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IVtrim19_produccion_y_gasto.pdf>

———, 'Boletín Técnico Vivienda VIS y No VIS', *I Trimestre de 2020*, 2019, 1–39
<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/vis/bol_vis_IVtrim2018.pdf>

DAY, Graham, GASPARRI, Eugenia, and AITCHISON, Mathew, *Knowledge-Based Design in Industrialised House Building: A Case-Study for Prefabricated Timber Walls* (Springer International Publishing, 2019), xxiv
<<https://doi.org/10.1007/978-3-030-03676-8>>

DURDYEV, Serdar, ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras, THURNELL, Derek, BANAITIS, Audrius, and IHTIYAR, Ali, 'Sustainable Construction Industry in Cambodia: Awareness, Drivers and Barriers', *Sustainability (Switzerland)*, 10.2 (2018), 1–19 <<https://doi.org/10.3390/su10020392>>

LIANG, Wang, and ZHANG, Shoujian, 'Analysis on the Main Relationship in Industrial Chain of Industrialized Building', *ASCE*, 2017, 364–74

MEJIA MARTINO, Marlon Esteban, 'Componentes Alternativos Para La Producción de Concreto En La Construcción de Vivienda Ambientalmente Sostenible' (EAFIT, 2011)
<<https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7243/6.marcoTeorico.pdf?sequence=6&isAllowed=y>>

MOHD ALI, RAI, Munira, Rahul, OTTE, J. Neil, and SMITH, Barry, 'A Product Life Cycle Ontology for Additive Manufacturing', *Computers in Industry*, 105 (2019), 191–203 <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.12.007>>

NSR-10, Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente, *NSR-10* (Colombia, 2010)

OKE, Ayodeji, AGHIMIEN, Douglas, AIGBAVBOA, Clinton, and MUSENGA, Chanda, 'Drivers of Sustainable Construction Practices in the Zambian Construction Industry', *Energy Procedia*, 158 (2019), 3246–52 <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.995>>

SERNA PULGARÍN, Carlos Andrés, and STUART CONTRERAS, Luís Fernando, 'Análisis Económico de La Mampostería Postensada En Seco versus Actiales Soluciones de Vivienda de Interés Social En Colombia' (UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN, 2010)

ŠAPARAUSKAS, Jonas, 'The Main Aspects Os Sustainability Evaluation in Construction', *Vilnius Gediminas Technical University*, December, 2017, 1–10 <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52578-5_1>

ROMERO CASTRO, Claudia Yineth and MOTTA VAQUIRO, Edwin, *Manual de Construcción Para Vivienda de Interés Social Con Sistemas Industrializados, En Sistemas Tipo Monoportable y Túnes*, 2016

ROTHBUCHER THOMAS, Natasha Ilse, and BASTOS COSTA, Dayana, 'Adoption of Environmental Practices on Construction Sites', *Ambiente Construído*, 17.4 (2017), 9–24 <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400182>>

WU, Shen-hua, 'Use of BIM and Prefabrication to Reduce Construction Waste' (University of Washington, 2017)

YIN, Belle Chua Lee, LAING, Richard, LEON, Marianthi, and MABON, Leslie, 'An Evaluation of Sustainable Construction Perceptions and Practices in Singapore', *Sustainable Cities and Society*, 39.December 2017 (2018), 613–20 <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.024>>

ZHANG, Jinyue, Yating LONG, Siquan LV, and Yunchao XIANG, 'BIM-Enabled Modular and Industrialized Construction in China', *Procedia Engineering*, 145 (2016), 1456–61 <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.183>>