

Revisión de la Construcción con Impresión 3D para los Problemas de Vivienda en Colombia

Review of 3D Printing Construction for Housing Issues in Colombia

Nicolas Pinzón Torres | Arq. Rubén Darío Rodríguez Angarita

Universidad Antonio Nariño

Resumen

El desarrollo de nuevas tecnologías constructivas ha permitido mejorar la eficiencia de los proyectos de construcción. Así, ha cambiado el panorama de los problemas de vivienda en el mundo. En esta revisión se presenta la viabilidad de la construcción de vivienda bajo el sistema de impresión 3D, una tecnología que ha permitido automatizar procesos constructivos; reduciendo significativamente los desperdicios, el tiempo, el costo y aumentando la productividad.

Abstract

The development of new building technologies has improved the efficiency of construction projects. Thus, it has changed the panorama of housing problems in the world. This review presents the feasibility of housing construction under the 3D printing system, a technology that has made it possible to automate construction processes, significantly reducing waste, time, cost and increasing productivity.

Palabras clave

Impresión 3D, automatización, vivienda, construcción.

Keywords

3D printing, automation, housing, construction.

Introducción

Debido al déficit habitacional cuantitativo y al crecimiento poblacional, en Colombia es necesario construir 393.000 viviendas anuales durante las próximas dos décadas [1]. Sin embargo, la producción

actual alcanza un 60%, teniendo 240.309 viviendas lanzadas en 2021 [2]. Con base en esto, es necesario buscar tecnologías que mejoren la eficiencia de la construcción y permitan reducir la brecha de vivienda en el país. Es aquí donde la impresión 3D representa una alternativa para producir viviendas en serie con una mayor rentabilidad para las empresas. Debido a la automatización del proceso constructivo, la fabricación aditiva disminuye el tiempo y costo de construcción, los desperdicios, los errores y, aumenta la productividad en obra [3].

MATERIALES Y MÉTODOS

Este artículo evalúa la viabilidad de la impresión 3D para la construcción de vivienda en Colombia. Utiliza la revisión documental, la web, así como una encuesta realizada a través de Google Forms. Así, se identificaron cinco categorías de estudio de la tecnología, recopilando la información obtenida, analizando resultados y comparándolos con métodos de construcción tradicional.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada categoría de estudio de la impresión 3D.

1. Aspectos técnicos

Una impresora de gran formato puede construir diferentes elementos de una vivienda. Algunas empresas la implementan para imprimir encofrados de cimentaciones, losas y columnas, las cuales trabajan en conjunto con el concreto fundido.

Figura 1. Encofrado de cimentación



Fuente: 3D WASP, 2018

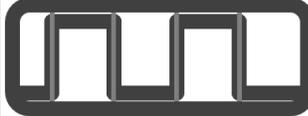
Figura 2. Encofrado de losa



Fuente: Mense-Korte, 2021

Los muros se imprimen con dos capas exteriores con distintos tipos de relleno de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

Figura 3. Muros impresos en 3D

MUROS			
Relleno	Patrón	Relleno	Patrón
Sin relleno		Cuadrado	
Triangular		Sólido	
Orgánico		<i>Se implementan refuerzos de acero entre capas</i>	

Fuente: Elaboración propia

El material de impresión debe tener bombeabilidad, capacidad de extrusión y edificabilidad [4]. En general, cada empresa tiene una mezcla patentada. Sin embargo, las empresas COBOD y CEMEX han desarrollado aditivos que permiten convertir cualquier concreto en uno apto para impresión 3D, reduciendo el costo de material un 90% debido a que solo representan un 1% del total de la mezcla [5].

1.1 Balance Aspectos Técnicos

La impresión 3D reduce las interrupciones y la extrusión de la mezcla es continua [6]. Así, se reduce la mano de obra y los trabajos son más seguros en comparación con métodos tradicionales [4]. La empresa Winsun afirma que reduce la mano de obra un 90% [7] y, la empresa COBOD afirma que la impresora BOD 2 solo necesita entre tres y cuatro operadores [8].

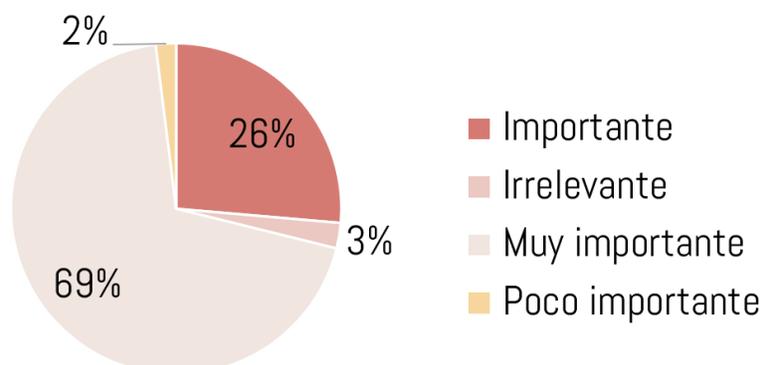
Sin embargo, la tecnología necesita más investigaciones para potenciar su desarrollo [9]. Actualmente, no existe una normativa específica para esta. Su implementación debe iniciar por una fase de laboratorio, tal como viene ocurriendo en Colombia. De igual manera, el personal debe estar previamente capacitado para operar equipos y software.

2. Aspectos Ambientales

La impresión 3D puede disminuir los residuos y el consumo de material entre un 30% y 60% [4]. Si se compara con el concreto prefabricado, el concreto impreso reduce las emisiones de CO₂ y el consumo de energía en más del 80% [3]. Además, existen materiales alternativos que mejoran aún más las ventajas ambientales de la tecnología. Sin embargo, estos necesitan más desarrollo para superar sus limitaciones. Por ejemplo, las mezclas a base de componentes naturales pueden generar agrietamiento y perder resistencia por la luz directa y la pérdida de agua [10]. Así mismo, las mezclas a base de cemento geopolímero se complementan con elementos como la ceniza volante, que puede ser de difícil acceso comercial [11]. Es necesario un vínculo entre la investigación en laboratorio y los programas a gran escala para que los aglutinantes alternativos puedan llegar a ser implementados en proyectos de construcción [12].

Por último, en relación a la reducción del impacto ambiental, el 95% de las personas encuestadas considera que es un aspecto importante.

Figura 4. ¿Qué tan importante es para usted disminuir la huella de carbono en la industria de la construcción?



Fuente: Elaboración propia

3. Aspectos Costo - Tiempo

Con base en la revisión documental, la reducción de costos y el aumento de la rentabilidad es de aproximadamente un 30%.

Figura 5. Reducción de costos y aumento de la rentabilidad

Autor	%	Imp. 3D comparada con:	Otros aspectos
S. Ruan & S. Qian [3]	34%	Concreto prefabricado	Productividad: +48,1%
E. K. Chávez [6]	39%	Métodos tradicionales	Costo de mano de obra: -35%
A. L. Mohd Tobi [7]	30%		Sin inversión de la máquina
Total	31%	Media - Según artículos estudiados	

Fuente: Elaboración propia [3]. [6]. [7]

Así mismo, en un estudio se desarrollaron dos flujos de caja donde se plasmó de manera teórica un comparativo de la rentabilidad de un proyecto de 200 viviendas sociales. Se observó que la impresión 3D es más rentable que el método tradicional [6]. Este análisis presenta los costos en dólar estadounidense (USD) y, para este trabajo fueron convertidos al peso colombiano (COP) utilizando la tasa de cambio representativa del mercado (TRM) del 22 de julio de 2022 [13].

Figura 6. Análisis de Rentabilidad

[6] COMPARACIÓN DE LA RENTABILIDAD – 200 Viviendas de 35m ²			
Ítem	Impresión 3D	Método tradicional	Diferencia
Valor actual neto	USD 717.202 COP 3.162.961.581	USD 433.563 COP 1.912.074.587	39%
Tasa interna de retorno (TIR)	12%	5%	7%
Utilidad después de impuestos	USD 1.584.831 COP 6.989.327.247	USD 1.161.175 COP 5.120.946.166	26,7%

Fuente: Elaboración propia [6]

3.1 Costo por Metro Cuadrado

Según el análisis, el costo de construcción de 200 módulos de vivienda utilizando la impresión 3D sería de USD 1.814.400 [6]. Si se divide esta cifra en 200 viviendas y en 35 metros cuadrados, se obtiene un costo de construcción por metro cuadrado de USD 259,2 (COP 1.143.108,29). De igual manera, con el total de ingresos por la venta de viviendas, se obtuvo un costo de venta por metro cuadrado de USD 837,27 [6] (COP 3.692.477,9).

3.2 Comparación del Costo de Construcción

Según la propuesta teórica, el costo de construcción por metro cuadrado de una vivienda impresa en 3D resulta aproximadamente un 30% menor que la vivienda VIS y VIP.

Figura 7. Costo de construcción

Ítem	Impresión 3D	VIP	VIS	No VIS
Fuente	Análisis propio según lo establecido por E. K. Chávez	Revista Construdata <i>Edición 203</i> (Junio-Agosto 2022) Precios Bogotá		
COP por m ²	1.143.108,29	1.502.093	1.766.144	2.597.055
Diferencia %	---	+ 31,4%	+ 35,3%	+ 127%

Fuente: Elaboración propia. E. K. Chávez, 2022 [6]. Construdata, 2022 [14]

3.3 Comparación del Costo de Venta

En comparación con los precios de Bogotá se observa una reducción del costo en estratos 3-4 y 5-6 en un 18,7% y 41,7% respectivamente.

Figura 8. Costo de venta

Método	Impresión 3D	Estrato 1-2	Estrato 3-4	Estrato 5-6
Fuente	Análisis	Properati (Suba)	Properati Blog (media junio 2022)	
COP por m ²	3.692.477,9	3.409.000	4.383.433	6.341.387
Diferencia %	---	- 8%	+ 19%	+ 42%

Fuente: Elaboración propia. E. Camarena, 2022 [6]. Properati, 2023 [15], 2022 [16]

Por otra parte, la impresión 3D puede reducir un 30% el tiempo de construcción [6] y aumenta la productividad un 48% en comparación con el concreto prefabricado [3].

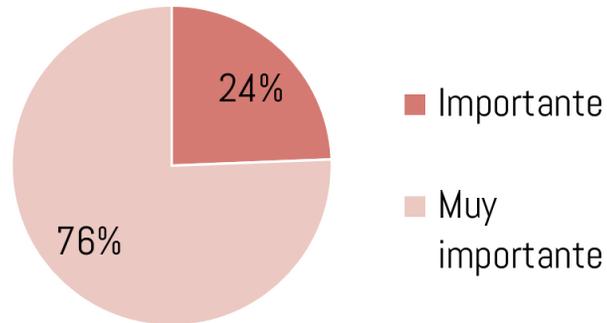
3.4 Balance Aspectos Económicos

En comparación con métodos tradicionales, cuando se construye de manera masiva la impresión 3D es más rentable para las empresas. Sin embargo, estas son propuestas teóricas que han sido resultado de investigaciones o prototipos. La información de las empresas constructoras sigue siendo muy reservada, lo que dificulta tener cálculos más precisos.

3.5 Costo en Colombia

La casa Origami fue el primer prototipo realizado por la empresa Concreto en 2017; un módulo habitacional de 23 metros cuadrados que costó aproximadamente COP 70.000.000 (3.043.478,26 m²) [17]. El costo sigue siendo alto debido a que se encuentra en fase de laboratorio.

Figura 9. ¿Qué tan importante es para usted la disminución de costos en la construcción de una vivienda?



Fuente: Elaboración propia.

4. Aspectos Sociales

La impresión 3D ha sido implementada para la construcción de viviendas sociales. Por ejemplo, la empresa ICON ha impreso 48 viviendas en zonas vulnerables de Tabasco, México [18]. Por su parte, la empresa COBOD ha utilizado la tecnología de aditivos D.Fab para la construcción de viviendas sociales en África [19].

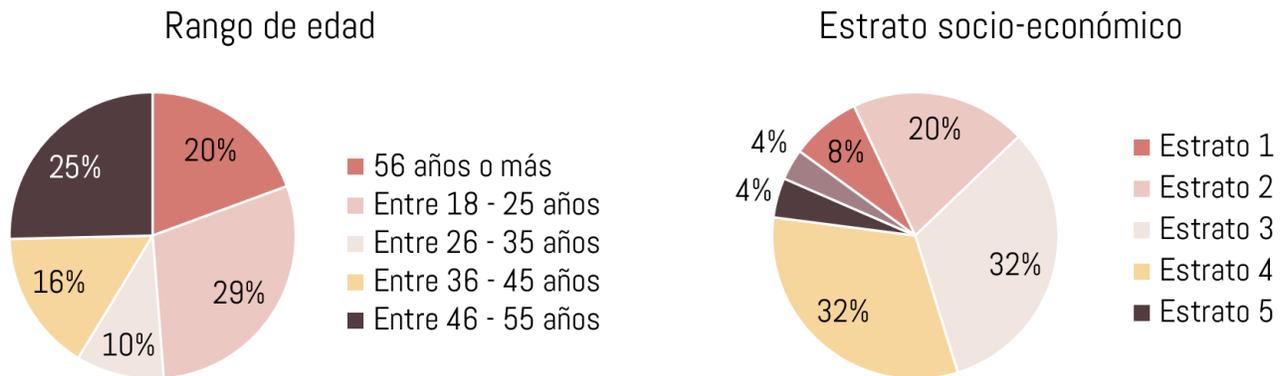
Figura 10. Viviendas sociales impresas en México



Fuente: ICON, 2019

Para el caso de Colombia, la encuesta buscó conocer la percepción que tienen las personas sobre una vivienda impresa en 3D. A continuación, se describe el rango de edad y el estrato socioeconómico de las 200 personas encuestadas.

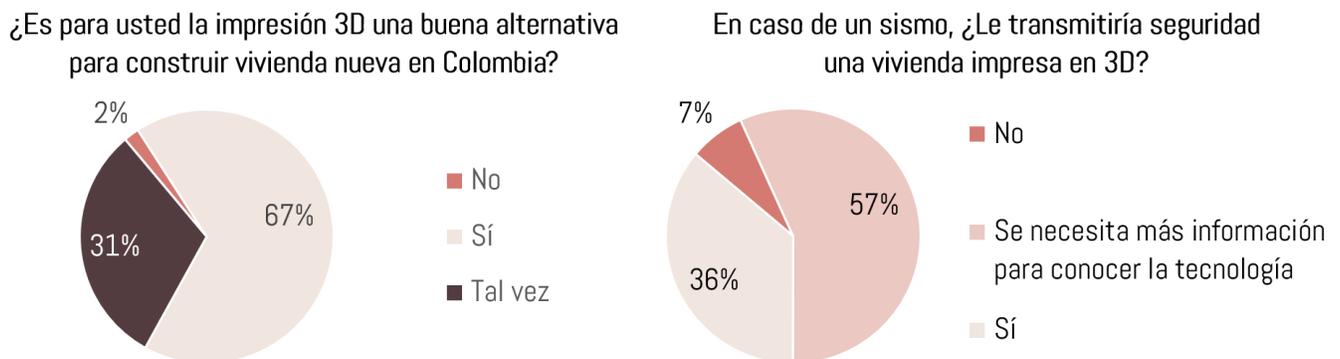
Figura 11. Descripción de los encuestados



Fuente: Elaboración propia

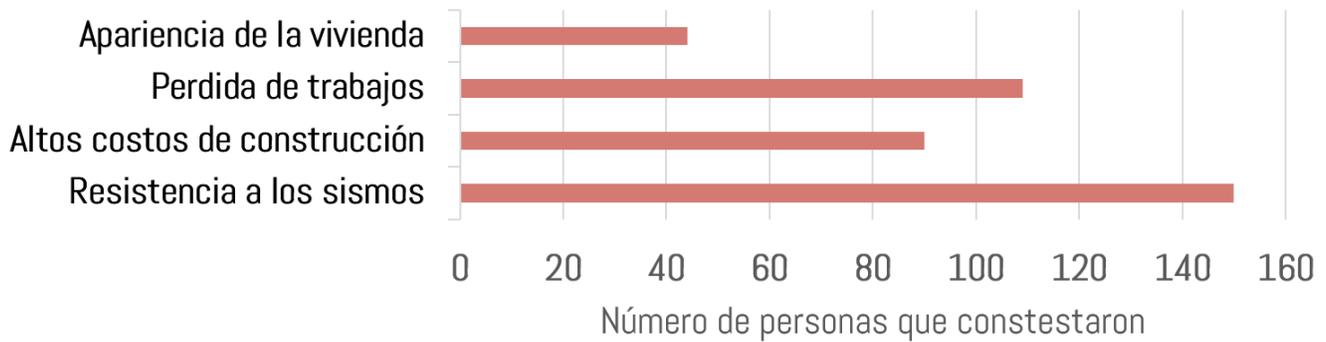
Se observó que las personas no tienen una percepción negativa de la tecnología. Si bien, preocupa la resistencia a los sismos; se puede afirmar que existe un interés en conocer más sobre la tecnología y la mayoría de personas consideran que es una buena alternativa para la construcción de vivienda.

Figura 12. Percepción de la tecnología



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Aspectos que preocupan respecto a una vivienda impresa en 3D

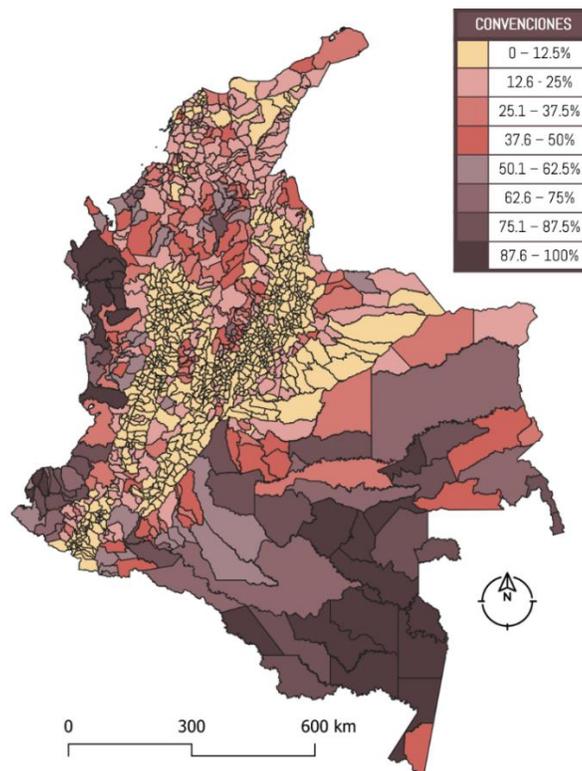


Fuente: Elaboración propia

4.1 Balance Aspectos Sociales

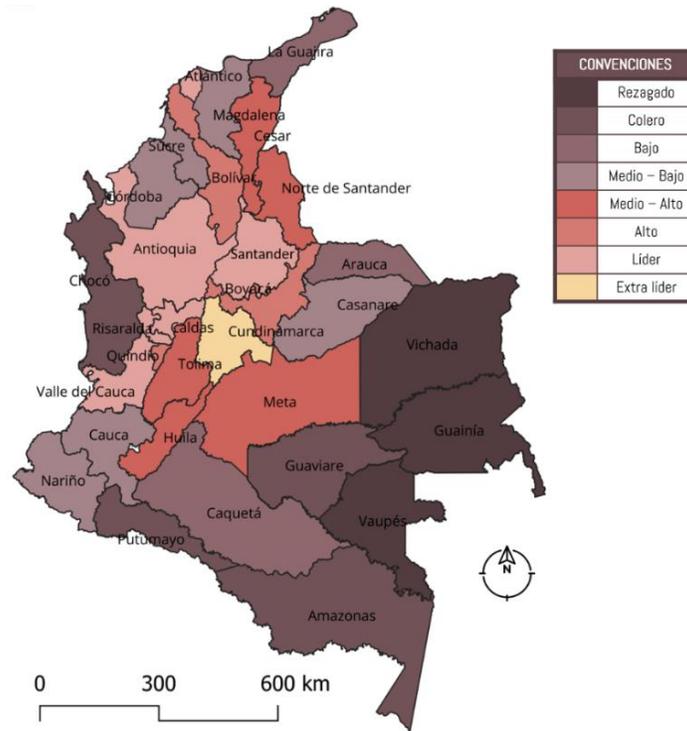
Según el déficit habitacional cuantitativo y la capacidad departamental, los municipios con más porcentaje de déficit están ubicados en departamentos con muy baja competitividad, es decir, que la impresión 3D es una buena alternativa para la reducción de la brecha de vivienda solo en departamentos centrales con buena competitividad, donde no se vería afectado el costo de construcción.

Figura 14. Déficit cuantitativo por municipio en 2018



Fuente: DANE, 2019

Figura 15. Competitividad departamental



Fuente: IGAC, 2021

5. Aspectos estructurales

La resistencia mínima a la compresión establecida por la NSR-10 es de 17MPa (aprox. 2.500 PSI) [20]. Con base en esto, se analizan materiales desarrollados y patentados por las empresas constructoras. Se encontró que, en promedio, las mezclas superan en un 250% la resistencia mínima establecida por la norma colombiana.

Figura 16. Resistencia a la compresión

Nombre	Descripción	Resistencia	NSR-10
Lavacrete [21] <i>ICON Build</i>	Superó los requisitos en un 350%	2000–3500 psi 18,96 MPa	+ 10%
Mortero [22] <i>SQ4D</i>	Cemento Portland, geopolímeros, arena y fibras	Aprox. 9000 psi 62,05 MPa	+ 360%
D.Fab [5] <i>COBOD + CEMEX</i>	Resistencia alcanzada entre las primeras 24 horas	5076 psi 35 MPa	+ 200%
Concreto [23] <i>Be More 3D</i>	Resistencia alcanzada a los 28 días	6787 psi 46,8 MPa	+ 270%
Concreto de investigación [24]	Cemento, humo de sílice, arena, piedra caliza, agua y aditivos	8159 psi 56,26 MPa	+ 330%
Media de resistencia de las mezclas estudiadas		6352,6 psi 43,8 MPa	+ 250%

Fuente: Elaboración propia. ICON, 2023 [21]. SQ4D, 2023 [22]. COBOD, 2022 [5] Be More 3D, 2018 [23]. A. Aramburu, 2022 [24].

Si bien, el concreto impreso supera la normativa estructural, se encontró que es un 21% menos resistente en comparación con el concreto fundido convencionalmente. Sin embargo, al eliminarse el factor humano, la dispersión de valores es menor. Además, las estructuras impresas pueden presentar el efecto diente de sierra, que consiste en la deformación de las capas inferiores por el peso de las capas contiguas; esto conlleva a una distribución desigual de las cargas y una deformación de la estructura [24]. Por lo anterior, es necesario que las mezclas sean estudiadas antes de ser implementadas en proyectos.

Conclusiones

1. Técnicas

La impresión 3D es más eficiente que los métodos tradicionales, ya que se produce un aumento significativo de la productividad. En Colombia, la empresa Concreto ha logrado avances en la estandarización de la mezcla y la producción a gran escala. A pesar de necesitar más desarrollo, la tecnología tiene una buena proyección en este aspecto.

2. Ambientales

Si bien, existen muchas limitaciones en la implementación de mezclas alternativas; la impresión 3D en concreto o mortero sigue siendo más sostenible que los métodos tradicionales. Se logra una gran reducción de las emisiones de CO₂ y de los residuos.

3. Costo-tiempo

El costo de la impresión 3D en Colombia seguirá dependiendo de su desarrollo, los precios siguen siendo altos debido a que todavía se encuentra en fase de laboratorio y aun no se ha generalizado en el mercado. Por otra parte, el costo puede verse afectado por factores de accesibilidad. El costo teórico establecido en este documento aplica solo en departamentos con buena competitividad, ya que, existen departamentos apartados que no tienen la capacidad de recibir nuevas tecnologías [25].

4. Sociales

Según la encuesta, las personas no tienen una percepción negativa frente a la implementación de la tecnología. Además, el análisis de costos permitió establecer que los estratos 3 y 4 tiene una mejor proyección debido a que se logra una reducción significativa del costo.

5. Estructurales

Las estructuras impresas en concreto o mortero superan las normas de sismoresistencia, pero siguen siendo menos resistentes si se comparan con métodos tradicionales. La principal limitación en este aspecto es la ausencia de una normativa específica.

6. General

Aún es necesaria más investigación para alcanzar los objetivos en la reducción del costo de construcción. Si se sigue potenciando el desarrollo de la tecnología, esta puede ser una buena alternativa para construir vivienda nueva de manera masiva en el país. Sin embargo, existen limitaciones en relación a la competitividad de algunos departamentos, los cuales no están preparados para recibir nuevas tecnologías.

Bibliografía

- [1] A. Saiz, «Confronting The Housing Challenge In Latin America,» *Massachusetts Institute of Technology*, p. 44, Julio 2022.
- [2] S. Forero, «Informe de Gestión Camacol 2021 - 2022,» Camacol, Bogotá, 2022.
- [3] S. Ruan & S. Qian, «Comparative economic, environmental and productivity assessment of a concrete bathroom unit fabricated through 3D printing and a precast approach,» *Elsevier Ltd*, pp. 7-12, Marzo 2020.
- [4] G. H. Ahmed, «A review of largescale 3DCP: Material characteristics, mix design, printing process, and reinforcement strategies.,» *Elsevier Ltd.*, pp. 508, 511-514, Julio 2022.
- [5] COBOD International, «World's first 3D printable concrete solution by CEMEX & COBOD,» 1 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://cobod.com/solution/materials/dfab/details/>.
- [6] E. K. Chávez, «Viabilidad de la Impresión 3D de concreto para la constructibilidad de viviendas sociales,» *20th LACCEI*, pp. 4-5, Julio 2022.
- [7] A. L. Mohd, «Cost viability of 3D printed house in UK,» *IOP Publishing*, pp. 4-5, 2018.
- [8] COBOD International, «The BOD 2,» Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://cobod.com/solution/bod2/>.
- [9] C. Menna, «3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design,» *Elsevier Ltd.*, pp. 218-219, Enero 2018.
- [10] R. Aguilar, «Eco-friendly additive construction: Analysis of the printability of earthen-based matrices stabilized with potato starch gel and sisal fibers,» *Elsevier Ltd*, pp. 1, 5, 12, Julio 2022.
- [11] B. Panda, «Additive manufacturing of geopolymer for sustainable built,» *Elsevier Ltd*, p. 287, Agosto 2017.
- [12] C. Unluer, «Development of alternative cementitious binders for 3D printing applications: A critical review of progress, advantages and challenges,» *Elsevier Ltd*, p. 17, Diciembre 2022.

- [13] Dolar-Colombia, «TRM Vigente el Viernes 22 de Julio del 2022,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.dolar-colombia.com/2022-07-22#:~:text=1%20USD%20%3D%204%2C410.14%20COP.>
- [14] Construdata, «Construdata Edición 203,» 14 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://fliphtml5.com/mlrkh/exaw/basic.>
- [15] Properati, «¿Cómo cerraron los precios de vivienda en venta de Bogotá en 2022?,» 24 Enero 2023. [En línea]. Available: [https://blog.properati.com.co/cierre-precios-metro-cuadrado-bogota-2022/.](https://blog.properati.com.co/cierre-precios-metro-cuadrado-bogota-2022/)
- [16] Properati, «Junio 2022: Precios del mercado inmobiliario – Bogotá,» 25 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://blog.properati.com.co/junio-2022-precios-del-mercado-inmobiliario-bogota/#:~:text=Nivel%20de%20precios%20en%20barrios%20de%20estratos%203%20y%204,fue%20de%203%2C44%25..>
- [17] El Espectador, «Esta es la primera impresora 3D de concreto premezclado de Latinoamérica,» 5 Noviembre 2018. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=n50Yo-VUCQI&t=59s&ab_channel=ElEspectador.
- [18] The New York Times, «How an 11-Foot-Tall 3-D Printer Is Helping to Create a Community,» 1 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.nytimes.com/es/2021/10/01/espanol/construccion-casas-3d-mexico.html.>
- [19] COBOD International, «Largest 3D Printed Building In Africa,» 20 Junio 2022. [En línea]. Available: [https://cobod.com/largest-3d-printed-building-in-africa/.](https://cobod.com/largest-3d-printed-building-in-africa/)
- [20] AIS, «Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente,» p. C1, Enero 2010.
- [21] ICON Technology, «Meet Vulcan Our Home-Sized 3D-printer,» Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.iconbuild.com/technology.>
- [22] SQ4D, «Characterizing the Strength of the Homes,» Julio 2023. [En línea]. Available: [https://www.sq4d.com/how-long-do-3d-printed-houses-last/.](https://www.sq4d.com/how-long-do-3d-printed-houses-last/)

- [23] Be More 3D, «La impresión 3D - Tecnología de la Industria 4.0.,» Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://bemore3d.com/wp-content/uploads/2018/10/Descripci%C3%B3n-Tecnol%C3%B3gica-FINAL-4.1.pdf>.
- [24] A. Aramburu, «3D printing effect on the compressive strength of concrete structures,» pp. 7, 13, Septiembre 2022.
- [25] IGAC, «Clasificación de competitividad departamental,» Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/#>.