

Evaluación estadística de la impresión 3D en la construcción de viviendas

David Alejandro Cuéllar-Rico¹, Axel Javier Jiménez-Suárez¹, Carlos Eduardo Juárez-Alarcón¹,
Manuel Francisco Nájera-Rosas¹, Zizilia Zamudio-Beltrán²

¹Universidad La Salle México, Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.

²Universidad La Salle México, Vicerrectoría de Investigación. Ciudad de México, México.

davidcuellar@lasallistas.org.mx, aj.jimenezs@lasallistas.org.mx,
ce.juarez@lasallistas.org.mx, manuel.najera@lasallistas.org.mx,
zizilia.zamudio@lasallistas.org.mx

Resumen. En este trabajo de investigación, se analiza la relación costo versus metros cuadrados de construcción con tecnología de impresión 3D en la industria de la construcción residencial para su posible implementación en México. Se examina cómo esta innovadora técnica está revolucionando la forma en que se construyen las viviendas y cómo puede influir en el futuro de la arquitectura y la construcción de forma que se tenga una opción viable y de costo accesible para el beneficio de adquisición de viviendas asequibles. Se abordan los desafíos y limitaciones actuales de la tecnología de impresión 3D en la construcción de casas. Además, se ofrece una base sólida para comprender y apreciar el impacto de esta tecnología emergente en la industria de la construcción residencial.

Palabras Clave: Impresión, 3D, construcción002E

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

En la actualidad la industria de la construcción presenta algunos retos, como lo son, el aumento de costos en los materiales, procesos que pueden llegar a ser muy lentos, pocos espacios para viviendas accesibles y el considerar hábitos más sostenibles a favor del planeta. La impresión 3D o procesos de fabricación aditiva, puede ser una tecnología que brinde una solución favorable para esos aspectos.

La construcción de casas impresas en 3D ofrece una alternativa innovadora y eficiente contra las técnicas tradicionales de construcción. Este método estructural moderno en el que los objetos materiales se crean mediante la distribución de materiales diversos como, plástico, metal, cemento entre otros, en capas que se depositan una encima de la otra como se puede ver en la Figura 1, basadas en un esquema digital para crear un modelo tridimensional de tamaño real que va de abajo hacia arriba (Shakir, 2019).

El Dr. Behrokh Khoshnevis, estudió la técnica conocida como “construcción perimetral” (contour craftin en inglés), esta técnica es un proceso de construcción automatizado, impactando de manera positiva en el ahorro de costos y tiempo, a tal punto que es posible construir una casa en solo 20 horas. Además, las impresoras 3D que se ocupan para construcciones, imprimen estos proyectos a gran escala con una grúa o un brazo robótico (Valdepeñas).

Las relaciones que presenta este trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible que se describe en Naciones Unidas (2018), se describen a continuación, primeramente, el ODS 8, que habla sobre el trabajo decente y crecimiento económico, ya que la impresión de casas 3D puede generar nuevas oportunidades y reducir riesgos laborales. Otro ODS que se relaciona es el 9, Industria, innovación e infraestructura, ya que la tecnología empleada para la construcción de casas en 3D implica la incorporación de nuevas tecnologías innovadoras. El ODS 12, producción y consumo responsable se relaciona ya que los materiales en construcción son mejor aprovechados y se genera un mínimo impacto en los desperdicios generados. Por último y el que se considera de mayor relevancia es el ODS 11, ciudades y comunidades sostenibles, ya que al implementar la fabricación de casas mediante tecnología 3D, se presentan los siguientes beneficios: mayor disponibilidad de acceso a una vivienda adecuada, aumento en la urbanización inclusiva y sostenible, y la reducción del impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los diseños municipales y de otro tipo.

En este trabajo de investigación se presenta un análisis entre la relación precio y metros por construir usando tecnología de impresión 3D para casas en nuestros días, centrándose específicamente en las casas impresas en 3D. Se examina cómo esta innovadora técnica está revolucionando la forma en que se construyen las viviendas y cómo puede influir en el futuro de la arquitectura y la construcción.

2 Objetivo

Analizar la relación entre los costos asociados al tamaño de las viviendas construidas mediante tecnologías de impresión 3D en México mediante la recopilación de datos y la aplicación de un análisis estadístico.

3 Propuesta de solución

La metodología empleada en este trabajo fue el análisis estadístico en donde se consideraron varios datos proporcionados por diversas fuentes preestablecidas en el campo. Estos datos incluyen el tamaño de las construcciones, el número de casas y el país en el que se construyeron utilizando la tecnología de impresión 3D.

A continuación, se determinaron los intervalos y se registraron las frecuencias correspondientes a cada dato dentro de dichos intervalos. Luego, se llevaron a cabo las operaciones necesarias para obtener la marca de clase y la frecuencia relativa. Todo esto con el propósito de identificar factores que representen ventajas para aquellas personas interesadas en construir una vivienda o edificación mediante este método, el cual ofrece facilidades que otras soluciones no brindan.

Se realizaron experimentos relacionados con distribuciones de probabilidad utilizando los datos obtenidos durante la investigación del tema, abarcando aspectos como los números de casas, el tiempo y la ubicación. Estos experimentos se diseñaron para considerar las posibles eventualidades en el proceso de implementación de construcciones con tecnología 3D, incluyendo distribuciones de tipo Poisson y binomial.

Con este enfoque estadístico, se busca proporcionar un análisis detallado y fundamentado, que permita comprender mejor las características y beneficios de la construcción de viviendas mediante impresión 3D, y así ayudar a quienes deseen utilizar este método a tomar decisiones informadas.

Con relación a la elección de población y muestra para este trabajo, se considera aquellas personas cuyo interés sea cualquier tipo de construcción ya sea a tamaño escala o real. Con base en esto, cualquier persona puede planear y ejecutar con todo tipo de material la mejora, eficiencia y productividad de estos. En el caso de la muestra, se considera sólo a las personas que quieran construir y vivir en un hogar hecho con impresoras en 3D.

4 Discusión de resultados e impactos obtenidos

Como resultados obtenidos, primeramente, se presenta la base de datos que se observa en la Tabla 1, generada con los datos obtenidos en la revisión bibliográfica, presenta varios países entre América y Europa y su relación metros de construcción y costos. En la Tabla 2, se presenta la representación de datos de la muestra establecida, estableciendo los parámetros de marca de clase, frecuencia, frecuencia relativa, acumulada y relativa-acumulada, resaltando la maca de clase y frecuencia de los datos de la muestra establecida. Con todos los datos anteriores se generó el histograma y polígono de frecuencias de los datos muestra, como se observa en la Figura 2.

Mediante la información anterior se genera la estadística descriptiva de los datos de la muestra de los metros cuadrados como se observa en la Tabla 3 y la estadística descriptiva de los datos de la muestra de los costos de las casas que se detalla en la Tabla 4.

Adicionalmente, dentro de los resultados obtenidos con este trabajo se tiene que dentro del análisis comparativo se pueden mencionar como aspectos importantes los siguientes: el diseño de una casa con impresión 3D puede llegar a ser más flexibles, mientras que la construcción tradicional la complejidad limita el diseño. En cuanto al tiempo de construcción se ha demostrado que se puede tener una casa con impresión 3D hasta en 20 horas (Bejerano, 2013), mientras que en la construcción tradicional el proceso puede tardar mucho más. Derivado del análisis estadístico que se presenta en este trabajo, fortalecido con la revisión bibliográfica realizada se determina que el costo entre una casa impresa en 3D y una casa tradicional puede variar significativamente siendo la impresión 3D una alternativa viable entre muchas cosas por la tecnología empleada, materiales más sostenibles y la optimización de dichos materiales empleados. En la Tabla 5 se presenta una comparativa generada con la investigación de este trabajo que presenta diferentes aspectos entre la construcción Tradicional y la Construcción con impresión 3D.

Es necesario precisar para tener un panorama general que, algunas desventajas de la construcción de casas mediante tecnología de impresión 3D incluyen costos iniciales elevados, limitaciones físicas en el diseño arquitectónico, preocupaciones sobre la calidad de los materiales, demanda energética significativa, tiempos de construcción prolongados en proyectos grandes, necesidad de mantenimiento y reparaciones costosas, obstáculos regulatorios y de aprobación, escasez de habilidades especializadas, limitaciones en terrenos irregulares, y la disponibilidad limitada de materiales sostenibles para la construcción. Estas limitaciones reflejan los desafíos actuales en la adopción de esta tecnología en la industria de la construcción en México.

5 Conclusiones y perspectivas futuras

El análisis estadístico ofrece una perspectiva sólida en cuanto a la relación precio de construcción con respecto a los metros cuadrados que se desean elaborar, se tiene una diversidad, además, la diversidad que se puede alcanzar por medio de este método es muy alta y conveniente, gracias a

este medio de construcción es posible realizar casas en tiempos increíblemente cortos, con precios que se consideran bajos.

Este trabajo sienta las bases para proyectar un futuro que promueva la optimización inmediata de los procesos de construcción, el desarrollo y la prueba de prototipos, la influencia en la formulación de regulaciones y estándares, programas de formación y colaboraciones con la industria, además de la identificación de oportunidades de negocio a corto plazo. Estas perspectivas tienen el potencial de impulsar rápidamente la adopción de la impresión 3D en la construcción, mejorando la eficiencia, aumentando la accesibilidad a viviendas y estimulando la innovación en la industria de la construcción tanto en el presente como en el futuro cercano.

Gracias a la mejora para realizar grandes zonas habitacionales que sirvan para contrarrestar problemáticas sociales como la escasez de viviendas y con ella la inflación, se permite que personas de distintos estratos sociales tengan acceso a una vivienda digna, adicionalmente, este método también permite crear negocios de alta rentabilidad, creando casas modernas y vanguardistas a costos más bajos. Gracias a la recopilación de datos obtenidos durante la investigación y el sometimiento de estos a los diversos procesos estadísticos y probabilísticos es que se determina que el desarrollo de las impresoras 3D para la construcción de viviendas debe ser de interés general, dando así el apoyo necesario para continuar con la innovación.

6 Agradecimientos

Agradecemos a la Dra. Zizila Zamudio Beltrán por su destacada participación en este proyecto. La experiencia, conocimiento y dedicación de la Dra. Zamudio fueron esenciales para el éxito de esta investigación. De igual manera, destacamos su compromiso, entrega y paciencia con nosotros para llevar la calidad del trabajo a lo máximo posible. definitivamente esto no hubiera sido posible sin ella. Asimismo, se extiende el agradecimiento a la Universidad La Salle México por proporcionar el entorno académico y los recursos necesarios para llevar a cabo este estudio. El constante respaldo de la institución fue fundamental en todo el proceso de elaboración del proyecto. Sin la colaboración de la Dra. Zamudio y el apoyo de la Universidad La Salle, este trabajo no habría visto la luz. Nos sentimos profundamente agradecido por su compromiso y apoyo inquebrantable.

7 Referencias

1. Shakir, Q. M. 2019. 3D-printing of Houses. Retrieved from Research Gate
2. Valdepeñas, J., & Hernández, G. Casas Impresas en 3D, el Futuro de Construir.
3. Naciones Unidas (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago
4. Breve Historia de la impresión 3D - impresoras3d.com. (2017).
5. <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>
6. M., A. (2022). Las mejores casas impresas en 3D del mercado - 3Dnatives.
7. <https://www.3dnatives.com/es/top-10-con-las-mejores-casas-impresas-en-3d-250220202/#>
8. AP. (8 de mayo 2021). ¡El futuro es hoy! Construcción de casas con impresoras 3D ya es una realidad. El Financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/tech/2021/05/08/imprime-y-armatu-casa-impresoras-3d-podrian-ser-la-alternativa-ante-a-la-escasez-de-vivienda/>

9. Sacyr. (2020, November 26). CONSTRUCCIONES EN 3D QUE REVOLUCIONAN LA INGENIERÍA. Sacyr Blog; Sacyr Blog. <https://www.sacyr.com/-/construcciones-en-3d-que-revolucionan-la-ingenieria>
10. Piquero Cambor, J., Mesa Fernández, J., Morán Palacios, H., & Luisa Fernández, R. (2018). ANÁLISIS COMPARATIVO DE PROCESOS PRODUCTIVOS BASADOS EN IMPRESIÓN 3D FRENTE A FABRICACIÓN CONVENCIONAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/1>
11. García-Alvarado, R., Martínez, A., González, L., & Auat, F.. (2020). Projections of 3D-printed construction in Chile. Revista ingeniería de construcción, 35(1), 60-72. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000100060>
12. Bejerano, P. (2013). La impresión 3D de casas para reducir los problemas de habitabilidad.



Figura 1. Impresión de casa 3D (Shakir, 2019)



Figura 2. Histograma y Polígono de Frecuencia

Tabla 1. Base de datos generada

Países	América y Europa		Costos
	Casas 3D	m2	
España	30	60	\$238,000.00
México	23	47	\$117,800.00
Marruecos	13	32	\$104,500.00
Moscú	44	38	\$112,300.00
Dubai	26	60	\$240,000.00
Salvador	22	43	\$76,000.00
Haití	16	43	\$75,000.00
Texas	38	32	\$76,300.00

Tabla 2. Representación datos-muestra

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA	MARCA DE CLASE	FREC. RELATIVA	FREC. ACUMULADA	FREC. REL. ACUMULADA
10 – 17	2	13.5	0.25	2	0.22
18 – 24	2	21.5	0.25	4	0.5
25 – 31	2	28.5	0.25	6	0.75
32 – 38	1	35.5	0.125	7	0.87
39 – 45	1	42.5	0.125	8	1.0
TOTAL DE FRECUENCIAS	8				

Tabla 3. Estadística de metros cuadrados

Media Aritmética	44.38
Mediana	43
Moda	No existe
Varianza	120.33
Desviación estándar	10.96
Sesgo	0.34
Curtois	1.45

Tabla 4. Estadística de costos

Media Aritmética	\$129,987.50
Mediana	\$115,050.00
Moda	\$76,300.00
Varianza	\$4,814,438,392.86
Desviación estándar	69386.15419
Sesgo	0.78
Curtois	0.000011267509

Tabla 5. Comparativa entre Construcción Tradicional y la Impresión 3D

Aspecto	Construcción Tradicional	Construcción con Impresión 3D
Costo	Variable y por lo general alto	Capacidad de disminución
Tiempo de construcción	Generalmente largo	Capacidad de disminución
Flexibilidad de diseño	Alta	Muy Alta
Personalización	Viable	Viable
Uso de materiales	Tradicionales y establecidos	Específicos para la tecnología
Generación de residuos	Alta	Baja
Complejidad de estructuras	Reducida	Alta
Experiencia requerida	Ampliamente disponible	En desarrollo
Tamaño de estructuras	Amplio	Limitado, con capacidad de aumentar
Replicabilidad	Depende de la habilidad de los trabajadores	Muy Alta
Regulaciones y códigos	Establecidos	En desarrollo