

# **Aplicaciones de la impresión 3D en arquitectura**

**Autores:** Aidan García, Joel Buitrago, Jonathan González

Universidad De Panamá. Facultad De Informática, Electrónica Y Comunicación. Ingeniería Mecatrónica

## **Resumen**

El siguiente documento presenta uno de los últimos avances en la tecnología, donde se aplican conceptos y procedimientos de arquitectura e impresión 3D, los cuales se complementan debido a las características de ambos, pues la arquitectura se encarga de crear estructuras, que se vean estéticamente bien o de una forma muy ordenada sin perder su funcionalidad. La impresión 3D usa materiales moldeables, con diferentes características para generar todo tipo de formas que son diseñadas en una computadora. La sinergia entre los dos conceptos, ha llevado a muchos estudios para empezar a desarrollar impresoras 3D especiales para generar diferentes edificaciones, de una manera automatizada y rápida, también ser aplicada en otros tipos de estructuras. La unión de ambos conceptos ha generado muchas ideas innovadoras y avances para cada área.

**Palabras Clave:** arquitectura, impresión 3D, funcionalidad, automatizada, avances.

## **Introducción**

La arquitectura es el análisis, el arte y la práctica del diseño de inmuebles y otras construcciones (como la arquitectura web). El concepto también se utiliza para explicar el diseño estructural de un objeto [1].

La Revolución Industrial provocó un enorme y rápido desarrollo de la automatización y la maquinización, que nunca antes se había observado.

La ornamentación se produjo en gran medida en una mayor importancia como resultado de la simplicidad (y bajo costo), donde el aumento de la automatización ofrece una mayor eficiencia.

También, movimientos arquitectónicos como el modernismo, se centraron en la producción de diseños industriales de mayor calidad y sus más temibles defensores vanguardistas procedían de la escuela Bauhaus, que presentaba las prestaciones internas de las construcciones como demostraciones estéticas de su calidad útil: la funcionalidad se ha convertido en belleza.

Las propuestas de diseño equilibran la imaginación y el pragmatismo del arquitecto, la capacidad de diseñar algo bello que también funcione. Junto a los ingenieros, topógrafos y otros especialistas, contribuyen que un diseño se haga lo más adecuadamente posible [2].

### *Avances*

El sector de la arquitectura y construcción ha tenido avances importantes en los últimos años para modernizarse y enfrentar desafíos como la brecha de productividad, la falta de mano de obra cualificada y la necesidad de cumplir con estándares de calidad, sostenibilidad y eficiencia energética. Los últimos años se perfilan como clave para la industria, con enfoque en la innovación, la digitalización, la sostenibilidad y la aplicación de tecnologías y métodos vanguardistas para lograr un salto exponencial en el sector [3].

### *Desarrollo Sostenible*

La construcción industrializada es una de las herramientas que permite la sostenibilidad, la digitalización y la automatización en la construcción, optimizando tiempos de producción y reduciendo el impacto medioambiental. Esto conlleva a la utilización de elementos y sistemas que promueven la eficiencia energética, como sistemas de aislamiento térmico, fachadas ventiladas, uso de energías renovables, entre otros. Sumado a esto, se desarrolla una nueva generación de sistemas fotovoltaicos para ser integrados en fachadas de los edificios

plurifamiliares, combinando generación de energía y aislamiento térmico [3].

### *Nuevas tecnologías*

La realidad virtual y aumentada es utilizada para visualizar proyectos futuros, detectar defectos y realizar cambios antes de la construcción, reduciendo costes, plazos y errores. Esto lo acompaña la implantación casi obligatoria de la metodología BIM (Building Information Modeling) que busca centralizar toda la información de un proyecto de construcción de forma digital, con el objetivo de estandarizar y optimizar el trabajo de construcción. Permite que todos los profesionales involucrados en el proyecto tengan acceso a la información en todo momento, lo que facilita la eficiencia en el proceso de construcción y la actualización constante de la información integrada en el proyecto [3].

Se ha dado el desarrollo de nuevos materiales en la industria de la construcción, como composites, aleaciones avanzadas y materiales biológicos o mejorados con nanotecnología, para incrementar resistencia, durabilidad y sostenibilidad. Regreso de las formas curvas en la arquitectura contemporánea, gracias a la innovación en materiales y sistemas [4].

### *Impresión 3D*

Hoy en día la impresión 3D ya se usa en muchas industrias, tanto para crear las piezas de instrumentos complejos, pasando por elementos ortopédicos e incluso biológicos, hasta la impresión 3D en la arquitectura: puentes, escaleras, marcos, placas o fachadas están entre sus recientes desarrollos.

Las aleaciones de plástico y metal son materiales usualmente aplicados para la impresión 3D, pero también los procesos de una impresora 3D pueden funcionar prácticamente con cualquier elemento, desde hormigón hasta tejidos vivos [5].

### *Potencial de la Impresión 3D*

La impresión 3D ha revolucionado la forma en que se fabrican objetos físicos, al eliminar la necesidad de procesos tradicionales como el mecanizado o la fundición. Esto permite una mayor flexibilidad y libertad

en el diseño, ya que se pueden crear geometrías complejas que serían difíciles o imposibles de lograr con métodos convencionales.

La impresión 3D también se destaca por su rapidez y eficiencia. Los procesos de preparación son generalmente más simples y rápidos en comparación con los métodos tradicionales de fabricación, lo que reduce los costos fijos asociados. Además, la capacidad de fabricar piezas bajo demanda y de forma personalizada, sin necesidad de grandes volúmenes de producción, brinda una mayor flexibilidad en la fabricación y reduce la necesidad de almacenamiento de inventario.

Otra ventaja de la impresión 3D es la amplia variedad de materiales que se pueden utilizar, desde plásticos y metales hasta cerámica, resinas y materiales compuestos. Esto permite adaptar los materiales a las necesidades específicas del objeto o la aplicación, lo que resulta en productos finales con propiedades mecánicas, térmicas y químicas optimizadas [6].

### *Técnicas de Impresión 3D*

La impresión 3D utiliza distintas técnicas que permiten manipular un material de tal manera que se logre diferentes acabados y hasta modificaciones en características físicas de un objeto. El Modelado por Deposición Fundida (FDM) utiliza plásticos ABS o PLA que se despliegan desde un filamento enrollado en un cilindro a través de una boquilla de extrusión que se calienta para fundir el material. El Sintetizador Fundido por Láser (SLS) emplea polvo que se calienta para crear objetos. Mientras que, la Estereolitografía (SLA) utiliza luz ultravioleta para solidificar la resina y crear objetos. Cada técnica tiene sus propias ventajas y limitaciones en cuanto a la calidad de impresión, el material utilizado y el costo [7].

### *Algunos usos*

En la industria de la ingeniería, la impresión 3D se utiliza con frecuencia para la creación de prototipos funcionales y pruebas de concepto, lo que permite acelerar el proceso de diseño y desarrollo de productos. Además, la capacidad de imprimir piezas ligeras y con geometrías optimizadas para el rendimiento, como en la fabricación de

componentes aeroespaciales, ha llevado a avances significativos en la eficiencia y el rendimiento de los productos finales [6].

Si dividimos los modelos de una misma maqueta podremos aumentar la calidad y detallismo de los elementos impresos, puliendo y montándolos posteriormente. Otras características deben ser la conectividad y codificación adecuadas, su durabilidad ante el esfuerzo constante, la precisión y la generalidad de materiales que acepten [8].

### *Evolución de la impresión 3D*

La impresión 3D en la arquitectura se remonta al año 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta. Poco después, en los años ochenta, algunos avances técnicos en los materiales de impresión transformaron la tecnología con tinta 2D en una inyección de materiales que hacía posible el 3D. Impresiones simples en aquel entonces pero el inicio de una revolución que aún hoy en día sigue innovando cada día a todos los niveles [8].

A medida que la tecnología continúa avanzando y se vuelve más accesible en términos de costos y capacidades, se espera que la impresión 3D siga revolucionando la fabricación y la producción de piezas en diversos sectores industriales, desde la automoción y la aeroespacial hasta la medicina y la moda, entre otros [8].

### **Aplicaciones de las impresoras 3D en trabajos de arquitectura**

Las impresoras 3D ahora se utilizan para producir todo tipo de obras de ingeniería civil con mayor rapidez. Esta tecnología ahorra un 60% en materiales, un 70% en tiempo de producción y un 80% en mano de obra. Existen algunos ejemplos de esto [9].

#### **El Dar Al Arkan Villa**

El edificio impreso en 3D más grande del mundo es llamado el Dar Al Arkan villa. Es una casa de tres plantas de 345 m<sup>2</sup> con una altura total de 9,9 metros. La planta baja tiene 130 m<sup>2</sup> y cuenta con un amplio recibidor con múltiples zonas de estar, una cocina y dos aseos. El

segundo piso tiene 140 m<sup>2</sup> y tiene 3 dormitorios (1 de los cuales es el dormitorio principal), 2 baños, sala de estar y balcón. El tercer piso es un anexo en la azotea con un cuarto de servicio con baño, un salón de usos múltiples y un cuarto de lavado [10].



La empresa estadounidense Apis Cor construyó la estructura utilizando solo una impresora 3D, que se movió por el sitio con una grúa. La obra finalizó en 26 días [11].

El edificio es un avance a la sostenibilidad por su ahorro de materiales y energía en un 30%. La villa se imprimió directamente sobre el terreno durante los meses de verano, sin equipos de refrigeración ni toldos. Esto demuestra que la tecnología puede imprimir casas en cualquier parte del reino, durante todo el año. Los materiales que se utilizaron fueron cemento, arena, rocas y piedras, con diversos grados de concentración, para garantizar que la estructura sea hasta cuatro veces más resistente que la construcción tradicional.

La empresa estadounidense Apis Cor construyó la estructura utilizando solo una impresora 3D, que se movió por el sitio con una grúa. Solo se necesitaron de 3 trabajadores junto con la impresora para finalizar la obra. Hoy en día las impresoras pueden realizar toda la ejecución de una edificación mientras que la mano de obra humana solo se encarga de la supervisión del proyecto mientras que la impresora este trabajando y luego le dan los detalles finales.

Las paredes impresas en 3D fueron colocadas sobre fundaciones de concreto y reforzados con más materiales de construcción tradicionales.

El gobierno de Dubai tiene planeado seguir innovando en las construcciones con impresoras 3D, el objetivo es que la ciudad de Riyadh posea un 25% de edificaciones hechas con impresoras 3D a lo largo de su territorio para el 2030.

El objetivo de Dar Al Arkan aquí es ayudar a transformar la industria de la construcción y los bienes raíces hacia prácticas de construcción avanzadas y sostenibles. Por lo tanto, el uso de tecnología de impresión 3D es una tendencia PropTech y se puede esperar que se utilice cada vez más en toda la región [12].

### **El puente de hormigón impreso en 3D más largo del mundo**

El puente de hormigón impreso en 3D más largo del mundo se encuentra en el distrito de Baoshan de Shanghái, China. Tiene 26,3 metros de largo y 3,6 metros de ancho. Se encuentra en el distrito de Baoshan de Shanghái, China [13].



Se construyo solamente componentes de hormigón impresos en 3D, incluidos unidades estructurales, pasamanos y paneles de cubierta decorativo. Este compuesto por 44 unidades de doveles, todas de hormigón impreso en 3D. Este material se compone de cemento sulfoaluminoso, arena (que midan de 0,2-0,4mm y 0,4-0,7mm de diámetro), fibra de alcohol polivinílico, agua y múltiples aditivos. Entre estos aditivos se incluyen un retardador, un espesante, un reductor de agua y un agente de resistencia temprana. Para la impresión de hormigón en 3D se deben monitorear las propiedades de fuerza de

resistencia, resistencia a la flexión y modulo elástico, y otros factores para cada proyecto.

Hay que tener en cuenta que el hormigón puede ser afectado en gran medida por la dosis de todos los materiales constituyentes, por ello los arquitectos analizaron con exactitud la cantidad de materiales a utilizar y como las condiciones del medioambiente del terreno afectaría su resistencia, el objetivo es que sea viable y no utilizar más recursos de los necesarios. Las propiedades químicas del cemento son por la dosificación del cemento, arena, fibra y agua. La relación del agua y cemento es la clave para determinar el factor fuerza de resistencia, mientras que la dosis de fibra de PVA (pegamento utilizado en construcciones) afecta la resistencia a la flexión.

Se debieron tener en cuenta 2 características para garantizar la imprimibilidad del hormigón:

- Capacidad de extrusión: Se refiere a la capacidad del material para extruirse a través de una boquilla de un sistema de impresión 3D. Es afectado por la dosis de reductor de agua y de espesante. El reductor de agua mejora la fluidez del hormigón, lo que facilita se extrusión. El espesante hace más sencillo mantener la forma del concreto impreso, sin embargo, aumenta la viscosidad del hormigón, lo que hace más complicado la extrusión del hormigón.
- Capacidad de construcción: La resistencia del mortero impreso para la colocación de capas sin desmoronarse. Los factores claves que afecta esta capacidad incluyen la dosis de retardador y el agente de resistencia temprana. El retardador evita que el concreto se endurezca en el sistema de impresión, mientras que el agente de resistencia inicia imparte resistencia al concreto antes de que fragüe, esto funciona para la formación de capas durante el proceso de impresión 3D. Los factores ambientales (especialmente la temperatura) pueden afectar la edificabilidad del hormigón. Por ejemplo, si baja la temperatura alrededor, la hidratación del hormigón se reducirá.

En el proceso de impresión 3D, estas dos capacidades se pueden ajustar modificando adecuadamente la proporción de los aditivos.



El puente se sitúa encima de una piscina de 14,4m de ancho, en el parque industrial integral en el distrito de Boashan de Shanghai. El diseño está inspirado en el puente Anji en Zhaoxian, China, uno de los puentes de arco más antiguos del mundo.

Se utilizó un sistema de impresión que consta de varias partes: el mezclador, el sistema de bombeo, el brazo robótico de 6 ejes, el cabezal de la herramienta de impresión, el controlador y la programación y el control.

El mortero de hormigón se bombea y se agita nuevamente después de salir de la mezcladora, así se evita que el material se endureciera antes de la impresión. El cabezal de la herramienta de extrusión tiene un silo de almacenamiento cilíndrico con un tornillo sinfín en el interior. Este sistema asegura la continuidad del mortero durante la impresión porque existe una probabilidad relativamente pequeña de que el cabezal de impresión se atasque debido al movimiento continuo.

Enfocándonos en el software, el programa de impresión incluyó códigos tanto para el movimiento del brazo robotito como para el sistema de control de procesos. Se utiliza el software Rasthopper para que cada modelo digital de cada componente se transforme en una ruta de impresión. La información clave de impresión, incluido el grosor de cada y la velocidad de movimiento del brazo robótico, se codifica en el programa de control del cabezal de la herramienta de impresión y la bomba integral.

Los códigos se ingresan en el brazo robótico a través del software antes de iniciar los trabajos, sin embargo, la velocidad del brazo se puede ajustar manualmente a través de la pantalla de control antes de que comience el proceso de impresión. La calidad de los productos finales se puede examinar midiendo su dimensión y comparándolos con los modelos digitales. Debido a la inestabilidad del mortero de hormigón se integró en el programa de impresión la señal de control para poder mejorar el control del mortero, al final se requirió algo de mano de obra manual durante el proceso de impresión.

Se instaló un sistema de monitoreo con sensores para recopilar los datos de fuerza, resistencia y deformación del puente en tiempo real. En comparación a un puente de tamaño similar construido de la forma

tradicional, El costo de construcción de este puente fue de 2/3 en comparación a un puente de tamaño similar construido de forma tradicional, podemos atribuirle esta diferencia al hecho de que durante la impresión y construcción no se utilizaron plantillas ni barras de refuerzo, lo cual redujo el costo final [14].

### **NASA implementando impresión 3D**

Para el 2025 la NASA planea establecer infraestructura y edificaciones en el proyecto “Artemis missions” La Dirección de Misiones de Tecnología Espacial tiene como objetivo estimular la creación de nuevas tecnologías necesarias para la superficie lunar y la aceleración de la creación de nuevas tecnologías y componentes claves. Se aliaron con ICON, una empresa especializada en el desarrollo tecnologías de construcción avanzadas que hacen avanzar a la humanidad mediante el uso de robótica de impresión 3D, software y materiales avanzados. ICON llama “Project Olympus” a esta iniciativa del desarrollo de estaciones espaciales y edificaciones en la luna junto con la NASA.

ICON está desarrollando un sistema de extrusión de regolito fundido. capaz de colar regolito fundido en moldes, y también extruir perlas de regolito fundido adyacentes entre sí y verticalmente una encima de la otra.

Este sistema aún está en desarrollo y tiene desafíos operativos pendientes; sin embargo, una vez que esté completo, será capaz de operar con una amplia gama de materiales de entrada y será la opción probable para el uso de lingotes, ladrillos y tejas [15].

### ***Aplicaciones en otras áreas***

Es importante el dar a conocer cómo la impresión 3D contribuye a otras áreas, además de que es evidente cómo se aplica el concepto fundamental de qué es arquitectura.

### *Medicina regenerativa*

La impresión 3D se usa ampliamente en la ingeniería de tejidos, la investigación de enfermedades y la detección de fármacos. Ofrece una capacidad sin precedentes para depositar varios tipos de biomateriales, células y biomoléculas capa por capa con una distribución espacial controlada con precisión. Esto significa que si hay un tejido o un órgano dañado ya es posible trabajar con algunas células de paciente para regenerar in vitro en un laboratorio de cultivos ese tejido dañado.

Se desarrolló el primer órgano con impresoras 3D en 1999. Se logró trasplantar con éxito una vejiga urinaria cultivada en laboratorio mediante una serie de implantes arteriales impresos en 3D, recubierto con células del paciente. Todo este proceso se realiza utilizando tecnología desarrollada por el Wake Forest Institute for Regenerative Medicine.

En 2002, se imprime el primer riñón completamente funcional. Fue gracias a los avances del Wake Forest Institute for Regenerative Medicine.

En la 2003, la compañía MCor Technologies perfecciona un nuevo proceso de impresión 3D, 3DPP (3D Paper PrinTing). La técnica se basaba en añadir sucesivamente capas de papel con un adhesivo especial, que luego se cortaba en la forma deseada con una cuchilla con punta de tungsteno [7].

### *Prótesis*

Desde el 2012 ya se han desarrollado con éxito prótesis de mandíbulas funcionales completamente personalizadas para las necesidades del paciente. En el 2013, surge la primera prótesis de manos y en el 2014 la primera pelvis a medida. Es el ámbito que se ha desarrollado a mayor velocidad en la actualidad ya es posible realizar prótesis de calidad para rodillas, caderas, dentaduras y cráneos con impresoras 3D [16].

## *Aeroespacial y automotriz*

En el 2010 se empiezan a aplicar las impresoras 3D en todo tipo de industrias, ese año se construye el primer avión funcional (para uso no comercial) completamente impreso en 3D. También se crea el auto Urbee, el primer automóvil cuyo armazón, fue íntegramente impreso en 3D [7].

## **Conclusión**

El trabajo introduce varios de los conceptos fundamentales de la impresión 3D y la arquitectura para entonces compartir de manera efectiva la manera cómo ambos se pueden aplicar especialmente en la construcción de edificaciones pero también en otros ámbitos. Crear edificios con impresión 3D amplía las opciones en cómo se da la creación de estructuras de manera automatizada, usando una amplia gama de materiales y tecnologías basadas en impresión 3D. Esto fue aplicado en la creación de una casa y puente fabricados de manera automática. También se piensa usar para la creación futura para estaciones espaciales en la luna. En otros ámbitos como la medicina, automotriz y aeroespacial. Esto revolucionaría la manera en que se construye no solo edificios únicos, sino hasta pudiendo ser aplicado a mayor escala, siendo eventualmente eficiente y sostenible en muchos aspectos.

## **Referencias**

- [1] Royal Architectural Institute of Canada, "What is architecture," Royal Architectural Institute of Canada. [En línea]. Disponible en: <https://raic.org/raic/what-architecture>
- [2] Riluxa, All about architecture. [En línea]. Disponible en: <https://www.riluxa.com/en/all-about-architecture>
- [3] NÜO, "Construcción 4.0: Nuevas Tecnologías para la construcción," Tendencias en control de accesos biométricos. [En línea]. Disponible en: <https://blog.nuoplanet.com/nuevas-tecnologias-para-la-construccion>

- [4] Obras Urbanas, “Ocho tendencias de la construcción y la arquitectura en 2023,” Obras Urbanas, 11-Ene-2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.obrasurbanas.es/ocho-tendencias-que-marcaran-la-construccion-y-la-arquitectura-en-2023/>
- [5] Autodesk, “¿Qué es la impresión 3D?: Software de impresión 3D,” Autodesk, 25-Sep-2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing>
- [6] Hubs, “What is 3D printing? how does 3D printing work?,” Hubs. [En línea]. Disponible en: <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/>
- [7] S. Medina., “Arquitectura del futuro. Las construcciones con impresora 3D,” Archivo Digital UPM, p. 12–25, Ene. 2021.
- [8] Paneles Ach, “Claves de la impresión 3D en la arquitectura moderna - Paneles Ach,” Blog paneles ACH, 23-Dic-2020. [En línea]. Disponible en: <https://panelesach.com/blog/claves-de-la-impresion-3d-en-la-arquitectura-moderna/>
- [9] J. Palacios and S. P. Chimbolema Morocho, “Diseño de un mortero con arcillas y cemento portland tipo i para su uso en impresoras 3D,” Repositorio Digital UNACH, p. XII, 2017.
- [10] M. Meisenzahl, “This building in Dubai is the largest 3D-printed structure in the world - and it took just 3 workers and a printer to build it,” Business Insider, 30-Dic-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.businessinsider.com/dubai-largest-3d-printed-building-apis-cor-photos-2019-12>
- [11] VoxelMatters, “World's tallest on-site 3D printed building completed in Saudi Arabia,” VoxelMatters, 09-Nov-2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.voxelmatters.com/worlds-tallest-on-site-3d-printed-building-completed-in-saudi-arabia/>
- [12] S. Pessoa, A. S. Guimarães, S. S. Lucas, and N. Simões, “3D printing in the construction industry - a systematic review of the thermal performance in buildings,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 141, p. 1–10, May 2021.

[13] R. Filini, "Impresión 3d (three dimensional) en la construcción de casas y edificios - Análisis de esta tecnología mediante las patentes de invención," *Perspectivas*, p. 181, 2020.

[14] W. E. I. G. U. O. XU, Y. U. A. N. GAO, C. H. E. N. W. E. I. SUN, and Z. H. I. WANG, "Fabrication and application of 3D-printed concrete structural components in the Baoshan Pedestrian Bridge Project," *Fabricate* 2020, p. 140–147, 2020.

[15] NASA, "NASA's Moon-to-mars planetary autonomous construction technology project: OVERVIEW AND STATUS - NASA technical reports server (NTRS)," NASA, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20220013524>

[16] Á. A. César-Júarez, A. Olivos-Meza, C. Landa Solís, V. H. Cárdenas-Soria, P. S. Silva-Bermúdez, C. Suárez Ahedo, B. Olivos Díaz, and J. C. Ibarra-De León, "Use and application of 3D printing and bioimpression technology in medicine," *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 61, no. 6, p. 43–51, 2018.