

# Impresión 3D aplicada a edificaciones de escala natural: reflexiones desde la experiencia PUCP

## El desafío de la ocupación inteligente y sostenible del espacio urbano

El paradigma de la ocupación inteligente y sostenible del espacio, específicamente en el ámbito urbano, plantea un área de investigación, innovación y desarrollo muy estimulante para la comunidad de ciencias e ingeniería de la PUCP. Esta propuesta tiene un avance inexorable en la industria de la construcción y en la comunidad académica. Han aparecido, tanto en las más importantes universidades y centros de investigación como en las empresas de los países desarrollados, núcleos de innovación dedicados a la materialización de esta idea transformadora. Por ello, es gratificante reportar que, en la PUCP, un equipo interdisciplinario de ingenieros, científicos y arquitectos viene generando propuestas que se van consolidando y escalando en alcance e impacto, propuestas que se inscriben en el clúster de "ciudades e industrias inteligentes y resilientes". Un ejemplo es el caso que se reporta en este artículo.

## Los materiales, la función y la forma frente al confort humano sostenible

Un análisis detallado y exhaustivo de las tecnologías y los procesos de construcción revela que el desafío de la sostenibilidad y de la minimización del impacto ambiental en esta industria exige mucho más que optimizar el traslado de insumos, disminuir las mermas y pérdidas o mejorar el desempeño de los materiales. Se trata más bien de ensayar cambios radicales en las tecnologías habilitantes, es decir, aquellas que hacen posible la industria. Es necesario poner a prueba también el compromiso entre los factores que se conjugan y que la arquitectura, la ingeniería y el diseño del espacio humano-compatible deben combinar para conseguir que el ambiente intervenido sea óptimo de cara al confort sostenible: los materiales, la forma y la función.

Es válido un abordaje que tenga como base la disponibilidad de materiales y técnicas constructivas asumidas como rígidas, y que adapte y flexibilice los demás factores. De



Mg. David Chávez



Mg. Guido Silva



Dr. Rafael Aguilar



Dra. Suyeon Kim



Dr. Javier Nakamatsu

hecho, una abrumadora mayoría de la industria de la construcción en todo el orbe se inscribe dentro de esta propuesta de solución. Es la más común y se enseña en todas las escuelas de ingeniería y arquitectura y la practican todas las empresas de construcción civil, además de otras muchas.

Es oportuno anotar que, por ejemplo, en 2017 el McKinsey Global Institute, como parte de su publicación “Reinventing Construction: a route to higher productivity” (Bughin, Manyika, & al., 2017), resalta que la productividad en el sector construcción se ha mantenido sin cambios significativos desde mediados del siglo pasado. Así, es válido también proponer que todos los factores de esta industria pueden ser intervenidos, adaptados y flexibilizados a la vez, de manera que se alcance la máxima versatilidad y adaptabilidad que los límites físicos permitan a materiales, procedimientos y geometrías en el espacio intervenido. Además, si esta aproximación insinúa mejoras en la productividad y rendimiento, y su correspondiente correlato económico y financiero para la industria de la construcción, entonces hay justificadas y suficientes razones para intentar su desarrollo e implantación. Es en este contexto que en la PUCP, con el apoyo de ProCiencia y en sociedad con la Universidad de Piura y la Universidad de Drexel (EE.UU.), se viene desplegando un proyecto estratégico para desarrollar la fabricación aditiva aplicada a la industria de la construcción, conocida como construcción aditiva.

### La impresión 3D en edificaciones

La manufactura, construcción o fabricación aditiva es conocida por el público como “impresión 3D”. Se practica con mucho entusiasmo en una gran variedad de aplicaciones que van desde partes y piezas hechas de polímeros

hasta tejido vivo. Como proceso constructivo, sus características y ventajas son ampliamente conocidas, así como sus limitaciones y desventajas. De forma breve, la impresión 3D consiste en fabricar un objeto en el espacio tridimensional mediante el aporte sucesivo y controlado de porciones relativamente pequeñas de material constructivo. Estas porciones incrementales suelen darse por capas y en el momento mismo de la deposición se realiza un proceso de consolidación que suele ser de extrusión, aunque existen variantes como la sinterización y otras alternativas menos frecuentes.

En la PUCP, la mayoría de los laboratorios donde se requieren prototipos cuentan con impresoras 3D para polímeros. Por ejemplo, la sala de manufactura digital VEO3D, sub unidad del Departamento de Ingeniería que se está integrando al proyecto de Core Facilities como FABCORE (los Core Facilities son instalaciones multiespecialidad que ofrecerán servicios integrados en ejes transversales y estratégicos), ofrece la impresión 3D en polímeros como un servicio a toda la comunidad universitaria en dos locales: OpenPUCP (quinto piso de Plaza San Miguel) y Complejo de Innovación Académica (cuarto piso).

---

**“En la PUCP, un equipo interdisciplinario de ingenieros, científicos y arquitectos viene generando propuestas que se van consolidando y escalando en alcance e impacto, propuestas que se inscriben en el clúster de “ciudades e industrias inteligentes y resilientes”**

---

La impresión 3D como técnica de manufactura se acerca al ideal de versatilidad porque es capaz de fabricar un sólido o pieza distinta cada vez que imprime, haciendo que cada una pueda tratarse como pieza individual, con sus propias características y variaciones. Esto impacta directamente en la mejora de la productividad porque hace innecesarias las consideraciones de variabilidad, modulación, estandarización y prefabricación de los componentes que se requieren para un producto manufacturado. En el caso de la impresión 3D aplicada a la industria de la construcción, se contemplan aún más impactos, como la total trazabilidad y control de los procesos, así como la posibilidad de llegar a prescindir de la industrialización de algunos insumos tan arraigados como los ladrillos o bloques prefabricados de concreto, y de todo el material y dispositivos necesarios para encofrados.

Si bien los principios funcionales de la impresión 3D son los mismos tanto para edificaciones a escala natural como para piezas y partes en otros campos, los desafíos técnicos son de diferente orden de magnitud. Eso se debe, en primer lugar, a la escala de la tarea, donde el espacio a intervenir pasa de milímetros o centímetros a decenas de metros.

La masa, el peso y los momentos de inercia de materiales y piezas pasan de gramos a centenas de kilogramos o, incluso, a toneladas. La traslación de las partes que imprimen también se acelera, pero la tolerancia, precisión y repetibilidad se mantiene en los mecanismos de control, con lo que el desafío de ingeniería se hace más complejo y difícil. Pero no quedan allí las diferencias. Para ayudar a ilustrarlo, basta fijarse en los materiales de construcción, que dejan de ser polímeros basados en macromoléculas termoformables hechas de hidrocarburos



Autoría: Archivo propio

(generalmente, plásticos y livianos) para ser reemplazados por cementos, metales, arcillas, agregados minerales, fibras naturales o sintéticas, y otros agentes químicos formadores de sólidos.

Todos estos desafíos se vienen enfrentando en la PUCP mediante un programa de investigación interdisciplinaria liderado por el Grupo de Investigación en Modificación de Materiales. Lo integran también la Sección Ingeniería Civil y el centro Fabricum (llamado anteriormente CETAM), por el Departamento de Ingeniería; la Sección Química, por el Departamento de Ciencias; y el Departamento de Arquitectura. También colabora la Universidad de Piura (UDEP) del





**Figura1: Muestras de impresión 3D con morteros a base de arcilla**

Perú y la Drexel University de Pensilvania. Dentro de este programa, se vienen ejecutando una sucesión de proyectos que contribuyen al dominio de la tecnología de impresión 3D para edificaciones en la PUCP. La mayoría de ellos con un aporte sustantivo de fondos concursables del Estado y otras entidades nacionales e internacionales.

Entre los años 2019 y 2021, por ejemplo, se trabajó en dos frentes de investigación simultáneamente. Uno de ellos es el desarrollo de capacidades en el control realimentado de posición del cabezal impresor y las operaciones de formado junto con la integración del código, software e interfaces de usuario a los estándares de geometría y fabricación 3D

(CAD/CAM) de la industria. El otro frente apuntó a la formulación de nuevos materiales para impresión combinando el uso de aglutinantes industriales con el uso de combinaciones de suelo tradicional o suelo estabilizado con aditivos orgánicos. (Silva, y otros, 2022). En este contexto, se desarrolló COLIBRI, un prototipo de impresora para fines de construcción capaz de construir sólidos dentro de un metro cúbico de espacio. Este prototipo sigue operando a la fecha y se usa para el ensayo de formulaciones de material imprimible para construcción civil.

(ver Figura 1)



**Figura 2: Prototipo de impresora 3D para edificaciones a escala natural que opera en el patio de materiales del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas**

El desarrollo de tecnología propia de impresión continua y en este contexto se viene implementando un nuevo prototipo de impresora 3D para edificaciones, esta vez a escala natural, donde el espacio intervenido es de 125 metros cúbicos. Esta impresora está soportada por un marco metálico que se ha construido en una losa técnica ubicada en el patio de materiales del Laboratorio de Estructuras de la PUCP. Esta nueva tecnología permitirá, además de los dos frentes mencionados, incursionar en el desarrollo de una metodología integral de construcción sismorresistente seriada por impresión 3D de viviendas y edificaciones civiles (ver Figura 2).

---

**“Esta nueva tecnología permitirá, además de los dos frentes mencionados, incursionar en el desarrollo de una metodología integral de construcción sismorresistente seriada por impresión 3D de viviendas y edificaciones civiles”.**

---

Estamos convencidos de que la implementación de la impresión 3D brindará evidencia experimental que valide los beneficios ofrecidos: mayor flexibilidad en el diseño; el desarrollo de materiales alternativos más amigables con el medio ambiente que reduzcan el impacto ambiental de los materiales de construcción tradicionales; mayor rapidez constructiva; trazabilidad de los procesos constructivos, así como una considerable reducción de costos en la construcción al no utilizar encofrado; la no exigencia de tanta mano de obra; y la optimización del transporte y del uso de los materiales de construcción. El propósito es que, una vez alcanzada su validación y sistematización técnica, y lograda su integración a los procesos logísticos de la industria de la construcción, sea entregada al sector en el país para contribuir a la solución del complejo problema del déficit de oferta de vivienda familiar, de escuelas y de hospitales en nuestro territorio.

Pensando en el futuro de la PUCP y en el desarrollo de su infraestructura, los miembros del equipo interdisciplinario de impresión 3D aplicada a edificaciones hacemos pública nuestra aspiración a imprimir, al menos en parte, los edificios del campus Santa María del Mar, cuando esa esperada e importante obra se materialice en favor de la comunidad universitaria. Confiamos en estar listos cuando llegue el desafío.

## Agradecimientos

Los trabajos reportados en este artículo vienen siendo desarrollados en el marco de dos proyectos financiados por ProCiencia: “WasiTek - Desarrollo de un sistema de construcción robótico autónomo para reconstrucción de viviendas posdesastre utilizando materiales locales mejorados con polímeros naturales extraídos de residuos industriales” (Contrato N° 178-2020) y “Economía circular en la industria de la construcción con impresión 3D: Reuso de desechos de conchas de abanico, concreto de demolición y PET como agregados para construcción aditiva con concreto” (Contrato N° PE501079328-2022).

## Referencias

- Bughin, J., Manyika, J., & al., J. W. (2017). *Reinventing Construction: a route to higher productivity*. Houston: McKinsey Global Institute.
- Silva, G., Ñañez, R., Zavaleta, D., Burgos, V., Kim, S., Ruiz, G., . . . Nakamatsu, J. (2022). Eco-friendly additive construction: Analysis of the printability of earthen-based matrices stabilized with potato starch gel and sisal fibers. *Construction and Building Materials*, Volume 347, 173-181. doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.128556
- Guido Silva, Robert Ñañez, Diana Zavaleta, Valeria Burgos, Suyeon Kim, Gaby Ruiz, Miguel A. Pando, Rafael Aguilar, Javier Nakamatsu, 2022. Eco-friendly additive construction: Analysis of the printability of earthen-based matrices stabilized with potato starch gel and sisal fibers. *Construction and Building Materials*, Volume 347, 2022.