

# LA IMPRESIÓN 3D DE EDIFICACIONES

Mg. Pablo Orihuela, Motiva S.A., porihuela@motiva.com.pe  
 Ing. Santiago Pacheco, Motiva S.A., spacheco@motiva.com.pe

## INTRODUCCIÓN

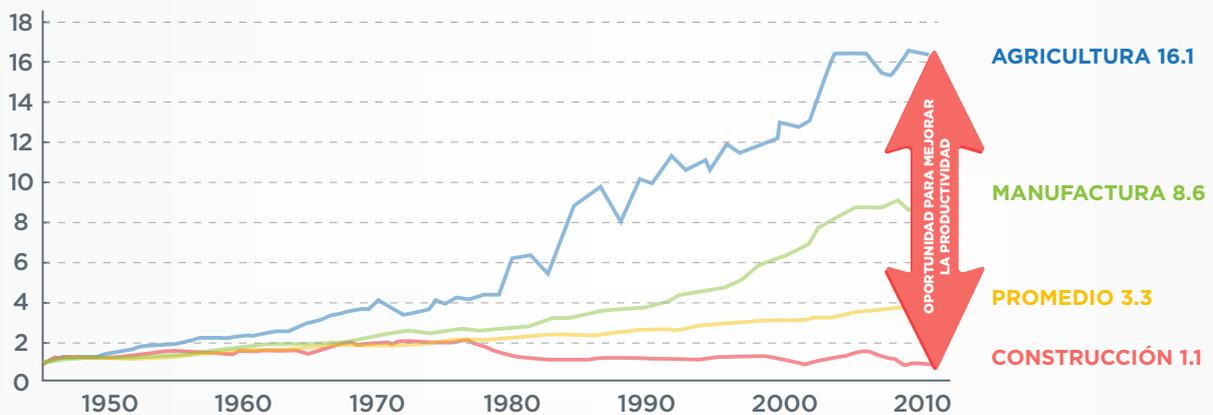
Desde los inicios de la Segunda Revolución Industrial en 1950, muchos de los sectores económicos han avanzado de manera significativa y sostenida hacia la industrialización. Así lo muestra el reporte Reinventing Construction del McKinsey Global Institute (2017), que presenta el incremento de la productividad de los distintos sectores económicos medido en valor agregado bruto (VAB) por hora hombre trabajada. Este estudio indica que la productividad en el sector construcción se ha mantenido sin cambios significativos desde 1950. Esto ubica al sector construcción en una mala posición respecto al resto de sectores productivos; sin embargo, también evidencia una gran oportunidad de mejora en el sector, como se grafica en la **figura 1**.

Existen múltiples razones por las que la construcción permanece en esa situación. Algunas de las mencionadas por McKinsey Global Institute (2017) son las siguientes:

- No hay reemplazo de mano de obra por maquinaria.
- La volatilidad de la demanda frena la inversión.
- Los códigos de construcción difieren entre países y dentro de ellos.
- La naturaleza personalizada de los proyectos de construcción limita la estandarización.
- Los proyectos tienen muchos subcontratistas y cada uno busca maximizar su ganancia.

### CRECIMIENTO ANUAL DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS

Valor Agregado Bruto por hora trabajada, precios constantes



### PRINCIPALES AVANCES POR SECTOR PRODUCTIVO

#### AGRICULTURA

Incremento de la escala debido a la concentración parcelaria y avances en la bioingeniería para incrementar la producción.

#### MANUFACTURA

Implementación de conceptos totalmente nuevos de flujo, diseños modulares y estandarizados, y automatización agresiva para incrementar la producción.

#### CONSTRUCCIÓN

Mejoras limitadas en capacidades tecnológicas y métodos de producción y escala.

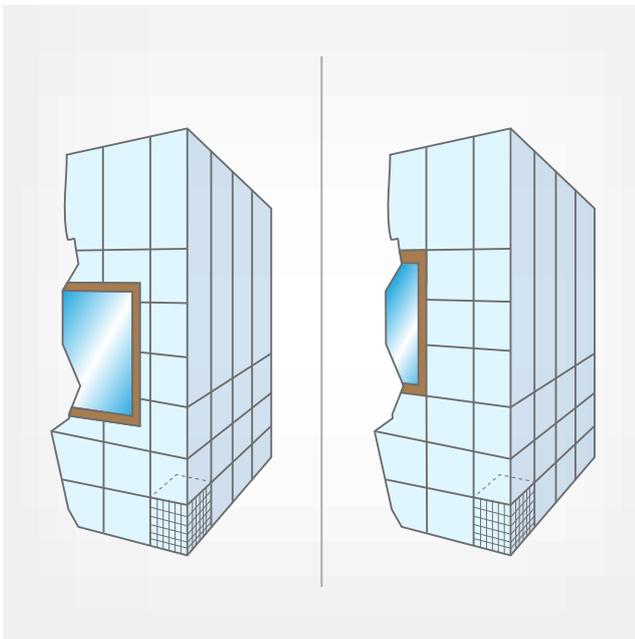
**Figura 1.** Crecimiento anual de Valor Agregado por sectores productivos y principales avances por sector. Adaptada de (McKinsey Global Institute, 2017).

## INDUSTRIALIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

La variabilidad producida por la naturaleza personalizada de los proyectos de construcción hace que, antes de poder industrializar la construcción, esta deba pasar por un proceso de modulación y estandarización. A través de esos pasos, será posible una prefabricación industrializada que finalmente contribuya a industrializar el sector (Orihuela & Orihuela, 2008).

### Modulación

La modulación consiste en dimensionar interrelacionando todos los componentes que intervienen en la edificación mediante un reticulado tridimensional modular de referencia (NTP 400.029:1980 Coordinación Modular de la Construcción, 1980). En la **figura 2** podemos observar una comparación entre el conjunto de una ventana, un alféizar y una mocheta no coordinados modularmente, y un conjunto de los mismos elementos modularmente coordinados



**Figura 2.** Coordinación modular en el conjunto ventana, alféizar y mocheta.

### Estandarización

La estandarización en la construcción consiste en elaborar productos y procesos con características similares para fabricar modelos repetidos que cumplan la misma función, con el fin de simplificar los componentes de construcción y reducir su costo. La fabricación industrial de estos componentes se hace posible si previamente usamos la modulación.

## Prefabricación

Es la fabricación del todo o de algunas partes de un objeto en algún lugar diferente al de su posición final. Esta puede darse de forma parcialmente in situ, parcialmente en fábrica, o integral y ampliamente estandarizada.

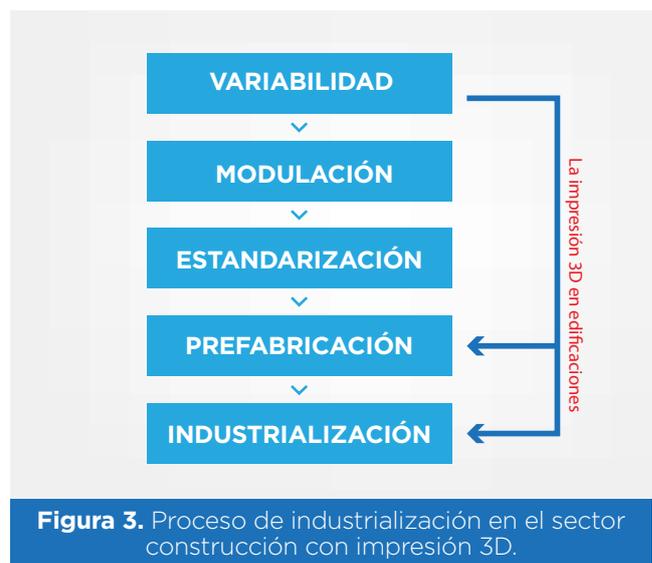
## Industrialización

La industrialización es la utilización de tecnología que sustituye la habilidad del artesano por el uso de una máquina. La esencia y la base de la industrialización es producir un objeto con reducida mano de obra artesanal, con máquinas utilizadas por obreros especializados, o con máquinas automáticas (Ghio, 1998).

## LA IMPRESIÓN 3D EN EDIFICACIONES

La fabricación aditiva, ampliamente conocida como impresión 3D, es el método de fabricación en el que se crea un objeto en tres dimensiones a través de la impresión de capas sucesivas de algún material. La impresión 3D tiene aplicaciones novedosas en la medicina, la educación, la fabricación de prototipos para la manufactura, la alimentación, el arte, entre otros. Incluso, es catalogada por diversos autores como la cuarta revolución industrial (Berman, 2012).

Una de las ventajas de la impresión 3D es que no requiere de moldes para fabricar las piezas, y puede realizar una pieza distinta por cada impresión sin que esto represente algún problema. Significa que, como se muestra en la **figura 3**, permite llegar a la prefabricación o directamente a la industrialización sin necesidad de pasar por la modulación ni la estandarización.



**Figura 3.** Proceso de industrialización en el sector construcción con impresión 3D.

El paso de la tecnología de impresión 3D de pequeña escala para la que fue pensada a la escala necesaria para construir edificios completos, es un proceso que ha sido investigado en las últimas décadas. Para realizar este desarrollo de tecnologías de construcción con impresión 3D, han sido necesarios cambios significativos en la tecnología de la impresora y en la del material utilizado como “tinta” para la impresión (Gardiner, 2011).

## Los tipos de impresora 3D de edificaciones

En cuanto a impresoras 3D, se están desarrollando distintas tecnologías que cumplen con el objetivo de moverse a través del espacio para lograr la impresión requerida. Entre ellas encontramos tres distintos tipos de tecnologías relevantes:

- Impresora tipo puente grúa: este tipo de soluciones son el escalado más directo de las impresoras 3D de pequeña escala. Como se puede ver en la figura 4, el cabezal de impresión se desplaza mediante un pórtico en cualquier dirección con tres grados de libertad X, Y, Z (Campillo, 2017). El mayor inconveniente de este sistema son las dimensiones y el peso de la estructura de pórticos, lo que hace que se requiera un gran esfuerzo para su transporte e instalación.



**Figura 4.** Impresora tipo puente grúa  
([www.upv.es](http://www.upv.es) consultado el 14/09/2018).

- Impresora de cables suspendidos: una solución que mejora el transporte del sistema es la “plataforma suspendida por cables”. Esta consiste en un cabezal unido a un marco mediante cables. Este cabezal es controlado por motores que retraen o extienden los cables de forma automatizada, como se puede ver en la figura 5 (Campillo, 2017).



**Figura 5.** Impresora de cables suspendidos  
([www.wasproject.it/w/en/](http://www.wasproject.it/w/en/) consultado el 06/09/2018).

- Impresora 3D tipo brazos robóticos: este tipo de impresión utiliza brazos robóticos con seis grados de libertad, lo que le permite una impresión más versátil, como se ve en la figura 6.



**Figura 6.** Impresora tipo brazo robótico  
([www.3dnatives.com](http://www.3dnatives.com) consultado el 12/09/2018).

- Impresora tipo brazo rotatorio: esta solución es planteada por Apis Cor, y utiliza un equipo, un silo de mezcla, una bomba y un brazo rotatorio, como se ve en la figura 7.



**Figura 7.** Impresora tipo brazo rotatorio  
(<http://apis-cor.com/> consultado el 15/08/2018).

## La mezcla

Los métodos de impresión 3D de edificaciones más desarrollados que usan los distintos tipos de impresoras antes descritas, son los métodos de extrusión. La pasta que se usa como “tinta” está formada por cementos y otros componentes aglutinados que pueden ser naturales o reciclados (Campillo, 2017).

La mezcla de concreto debe ser diseñada para satisfacer ciertos criterios de desempeño que están directamente relacionados con el proceso constructivo de impresión 3D con concreto y la impresora asociada (Malaeb, Hachem, Tourbah, El Zarwi, & Hamzeh, 2015). Estos criterios son:

- Capacidad de ser bombeado: el material debe tener la fluidez necesaria para moverse por el sistema desde el ingreso de la mezcla hasta el cabezal de impresión (Campillo, 2017).
- Capacidad de ser impreso: el material debe tener, al llegar a la boquilla, la fluidez necesaria y el tamaño máximo de partículas indicado para poder ser extruido por la boquilla de impresión (Campillo, 2017).
- Constructibilidad: el material de impresión debe tener la velocidad de fragua adecuada para ser capaz de soportar el peso de la siguiente capa y, a la vez, debe asegurar la adherencia con la misma (Campillo, 2017), (Malaeb, Hachem, Tourbah, El Zarwi, & Hamzeh, 2015).
- Tiempo de trabajo: el material a extrudir debe mantener las propiedades antes descritas por el tiempo necesario para que la máquina termine de extruirlo (Campillo, 2017), (Malaeb, Hachem, Tourbah, El Zarwi, & Hamzeh, 2015).
- Resistencia a compresión: además de todos los criterios de desempeño mencionados, el material a emplear debe generar la resistencia a la compresión necesaria según el diseño estructural (Malaeb, Hachem, Tourbah, El Zarwi, & Hamzeh, 2015)

Algunas empresas, como Apis Cor, están optando por el desarrollo de nuevos materiales que puedan satisfacer de manera más eficiente los requerimientos antes descritos. Uno de esos materiales es el geocemento, un cemento a base de geopolímeros. Los geopolímeros son polímeros inorgánicos compuestos de monómeros que contienen principalmente silicio, aluminio y oxígeno (Y. Tineo, comunicación personal, 5 de setiembre de 2018).

## CASOS DE APLICACIÓN

Los métodos de impresión 3D de edificaciones están siendo desarrollados en distintas partes del mundo desde mediados de la década de los 90's por instituciones como la Loughborough University de Reino Unido, la University of Northern California de Estados Unidos y D-Shape de Reino Unido. Sin embargo, no ha sido hasta hace pocos años que esta tecnología ha alcanzado el desarrollo necesario para ingresar a la industria. Dos ejemplos de ellos son Winsun y Apis Cor.

### Winsun

Es una empresa china que desde el 2008 ha logrado construir casas y edificios con grandes elementos prefabricados con impresión 3D como se ve en la **figura 8**, incluido el edificio más grande construido con ayuda de la impresión 3D, de 5 pisos.

Para construir estos grandes elementos prefabricados, la empresa cuenta dentro de sus instalaciones con una impresora tipo puente grúa de 32 metros de largo y 6.5 m de alto. En cuanto a la mezcla, Winsun cuenta con patentes de mezclas de cemento y otros materiales compuestos ambos reforzados con fibra de vidrio que usa como mezclas para su sistema.



**Figura 8.** Edificio con elementos prefabricados por impresora 3D  
([www.winsun3d.com/En/](http://www.winsun3d.com/En/) consultado el 02/09/2018).

## Apis Cor

Otro caso de estudio es el de Apis Cor, la empresa establecida en Rusia que en el año 2017 construyó, como se ve en la **figura 9**, la primera casa impresa en 3D en sitio, utilizando 24 horas de impresión.

Para poder realizar construcciones en sitio, Apis Cor ha diseñado un sistema de impresión que es una combinación de los sistemas tipo puente grúa y brazo robótico, que imprime en coordenadas polares. Esta impresora solo pesa 2 toneladas y puede ser fácilmente transportada. Además, se integra con una pequeña planta concretera y una bomba para completar el sistema, como se mostró en la **figura 7**.

En cuanto a la mezcla, Apis Cor trabaja con un mortero de cemento con aditivos comerciales en una proporción necesaria para que la casa pueda ser construida. Adicionalmente, en alianza con empresas especializadas y universidades, está desarrollando una mezcla de geocemento con mejores propiedades para la impresión 3D.



**Figura 9.** Impresión 3D en sitio de Apis Cor (<http://apis-cor.com/> consultado el 12 de septiembre de 2018).



## CONCLUSIONES

La construcción aditiva, debido a las características descritas, es una opción viable para la industrialización de la construcción y el incremento de la productividad en el sector. Esta opción contribuye con remplazar la mano de obra artesanal por el uso de maquinaria, disminuir la cantidad de subcontratistas involucrados y superar el problema de la alta variabilidad inherente al sector.

La impresión 3D de edificaciones es un campo en el que queda mucho por investigar, sin embargo, ya existen soluciones tecnológicas que hacen que, como en los casos presentados, pueda iniciar la aplicación de las impresiones 3D en el sector. En pocos años esta tecnología estará difundida en todo el mundo y revolucionará el sector construcción.

## REFERENCIAS

- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55, 155-162.
- Campillo, M. (2017). Prefabricación en la arquitectura: Impresión 3D en hormigón. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.
- Gardiner, J. (2011). Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing – Project Led Architectural Research. Melbourne: RMIT University.
- Ghio, V. (1998). Guía para la innovación tecnológica en la construcción. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile.
- INACAL – Instituto Nacional de Calidad. (1980). NTP 400.029:1980 Coordinación Modular de la Construcción.
- Malaeb, Z., Hachem, H., Tourbah, A., El Zarwi, N., & Hamzeh, F. (2015). 3D Concrete Printing: Machine and Mix Design. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 6(6), 14-22.
- McKinsey Global Institute. (2017). Reinventing Construction: A route to higher productivity. McKinset&Company.
- Orihuela, P., & Orihuela, J. (2008). Evaluación de la Estandarización en Proyectos de Vivienda. II Encuentro Lationamericano de Gestión y Economía de la Construcción. Santiago de Chile.