

02-013

## **CONSTRUCTION 4.0: TOWARDS SUSTAINABILITY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

*Villena Manzanares, Francisco*<sup>(1)</sup>; *Marçal Gonçalves, Marta*<sup>(2)</sup>; *Lucena González, Carlos*<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Sevilla, <sup>(2)</sup> Universidade do Algarve, <sup>(3)</sup> Universidad Católica de Murcia (Ucam)

Nowadays, the construction industry is undergoing a transformation thanks to digitalization and incorporation of new technologies which industrializing its processes, currently known as Construction 4.0. The application of Construction 4.0 has demonstrated greater flexibility and technical feasibility by offering more sustainable and efficient solutions. Industrialized construction (prefabricated and / or modular) incorporates technologies and methodologies (e.g. Lean Construction and, BIM) capable of minimizing time and costs, improving productivity in the sector. The objectives of this work are firstly to establish industrialized construction from a 4.0 perspective through a review of the literature, and secondly, to reflect on the construction approach with a 4.0 approach. towards the principles of sustainability and sustainable development for the societies of the future.

*Keywords: construction 4.0; sustainability; BIM; prefabricated construction; modular construction*

## **LA CONSTRUCCIÓN 4.0: HACIA LA SOSTENIBILIDAD EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.**

En la actualidad, el sector de la construcción está transformándose gracias a la digitalización y a la incorporación de las nuevas tecnologías que industrializan sus procesos, lo conocido actualmente por Construcción 4.0. La aplicación de la Construcción 4.0 ha demostrado mayor flexibilidad y viabilidad técnica ofreciendo soluciones más sostenibles y eficientes. La construcción industrializada (prefabricada y/o modular) incorpora tecnologías y metodologías (por ejemplo: Lean Construction y BIM) capaces de minimizar tiempos y costes mejorando la productividad en el sector. Los objetivos de este trabajo son en primer lugar establecer la construcción industrializada bajo una perspectiva 4.0 a través de una revisión de la literatura, y, en segundo lugar, reflexionar sobre la aproximación de la construcción con un enfoque 4.0. hacia los principios de sostenibilidad y desarrollo sostenible para las sociedades del futuro.

*Palabras clave: construcción 4.0; sostenibilidad; BIM; construccion prefabricada; construcción modular*

Correspondencia: Francisco Villena Manzanares

[fvillena@us.es](mailto:fvillena@us.es)



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

La construcción 4.0 se presenta como una oportunidad para las empresas del sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) donde han estado muchos años funcionando sin aplicar técnicas manufactureras y digitales a los procesos constructivos (García de Soto et al., 2019). La construcción 4.0 significa adoptar una nueva perspectiva tecnológica aplicando la industrialización a los procesos constructivos (Maskuriy et al., 2019), y la utilización de herramientas digitales para optimizar y mejorar la concepción de lo construido dentro de un modelo virtual digital 3D (Hussien, Waraich, y Paes, 2020; Spisakova y Kozlovska, 2019). Aplicar industrialización y digitalización al sector de la construcción implica que las infraestructuras a construir sean procesadas como procesos manufactureros más que como proyectos independientes, es decir, el objetivo de la industrialización en la construcción es la reducción de las actividades sobre el terreno (Koskela, 2003).

La aplicación tecnológica de la construcción 4.0, se refiere a contar con herramientas como Internet de las Cosas (IoT), el Big Data, la robótica, utilización de drones, uso de escáneres 3D (Lin y Cheung, 2020 ; García de Soto y Skibniewski, 2020)., el uso de diversos softwares de modelado 3D para generar modelos de información de la construcción (BIM), utilización de diversos softwares para generar interoperabilidad de diferentes disciplinas con el modelo BIM, nuevas formas de trabajar de manera colaborativa en la nube, etc., de manera que podamos tomar decisiones en tiempo real a priori a la construcción en el sitio (Whyte, 2003; Tezel y Aziz, 2017). Doely (2014) presenta el uso de diferentes tecnologías de construcción impresa en 3D como casos de éxito de la tecnología aplicada en el sector de la construcción. En la construcción tradicional, las tareas de construcción generalmente son complejas y difíciles de cuantificar cuando se evalúa y mide la productividad (Janssen, 2008). En muchos países la industria de la construcción atrae críticas debido a la baja productividad y la mala calidad (Eriksson y Westerberg 2011). Por ello optimizar la productividad de la construcción es un tema clave en cuanto a aumentar la rentabilidad, reducir costes, crear y mantener ventajas competitivas promoviendo estrategias de productividad individuales, que se ajusten a las necesidades comerciales (Flanagan, Cattell y Jewell, 2005). En la búsqueda de mejorar la productividad en la construcción, se propuso la filosofía Lean Construction (Koskela, 1992), que se fundamenta en dar prioridad a las actividades que agregan valor al producto sobre las que no, buscando eliminar pérdidas por medio de la reducción de inventarios, disminución de tiempos de ciclos, automatización de procesos, cooperación con proveedores, cambio de enfoque de la producción, entre sus principios fundamentales. Por tanto, el sector de la construcción podría incrementar su productividad si adquiere un estilo 4.0 dando preferencia a la industrialización de procesos y a la incorporación de herramientas tecnológicas (Schwalbe, 2010), aquí es donde el BIM adquiere un papel primordial dentro de la construcción industrializada como sistema de información que gestiona datos de un modelo virtual (Eastman et al., 2011). No podemos entender la tecnología como algo ajeno a las personas y sus necesidades. Por tanto, se define la Construcción 4.0 como las tecnologías digitales, que, a través de las personas, transforman el concepto tradicional de la construcción en el sitio, para entenderlo como una industria manufacturera de alta tecnología 4.0 donde la automatización y el uso del dato se utilizan desde una perspectiva sostenible (Craveiro, et al, 2019).

Los objetivos de este trabajo son en primer lugar establecer la construcción industrializada bajo una perspectiva 4.0 a través de una revisión de la literatura, y, en segundo lugar, reflexionar sobre si la construcción con un enfoque 4.0. se aproxima a los principios de sostenibilidad y desarrollo sostenible para las sociedades del futuro. Para ello, en la sección 2 se realiza un marco teórico para comprender la industrialización de la construcción (técnicas, herramientas y tecnologías) y se

introducen los principios de sostenibilidad. En la tercera sección se analizan las ventajas y desventajas entre la construcción prefabricada y modular, en la cuarta sección se reflexiona sobre el desarrollo sostenible y la construcción 4.0, y por último en el apartado 5 se presentan las conclusiones del estudio.

## **2. La construcción industrializada y la sostenibilidad.**

En la literatura encontramos diversas y muy variadas definiciones de BIM, en este trabajo vamos a destacar la definición de Oesterreich y Teuteberg (2016), que dice (BIM es): “Clave facilitadora de la transformación digital que brinda oportunidades para armonizar el sector de la construcción con paradigmas emergentes en el entorno como Internet de las cosas (IoT), sensores inteligentes, conectividad y Big Data”. En adición destacamos también la definición de BIM aportada por Villena, García-Segura y Pellicer (2019), que dice (BIM es): “Un proceso integrado y participativo que mejora la representación digital de los proyectos y optimiza el análisis de la construcción (tiempos, costes y procedimientos), para garantizar el éxito en la ejecución del proyecto”. Algunos autores consideran ya el BIM en sí mismo como una innovación sin límites, o innovación sistemática (Harty, 2008; Ahmed y Kassem, 2018) pero desde el punto de vista de este trabajo, el BIM se considera como una tecnología que requiere también la aplicación de un cambio de paradigma metodológico: el trabajo colaborativo (Barrett, y Sexton, 1998; Elmualim y Gilder, 2014; Dainty et al, 2017). Por otra parte, la construcción industrializada, se puede concebir como aquella donde los procesos y los procedimientos constructivos de montaje son similares a los de la fabricación en cadena en entornos fabriles. Si a la definición anterior le añadimos el control de la producción ajustado dentro de un modelo virtual digitalizado y automatizado, estaríamos definiendo la construcción industrializada con técnicas de construcción 4.0 (Craveiro, et al, 2019). Por tanto, BIM no es una opción sino una necesidad, si se quiere evolucionar en un sector estancado tecnológicamente durante décadas, y deducimos que la construcción industrializada puede ir unida al BIM (Hossan et al, 2020). Debido a las consideraciones anteriores la construcción tradicional, basada en mano de obra y poca digitalización, no puede ser la adecuada para encajar con el concepto de construcción 4.0.

La construcción industrializada requiere de aplicar tecnologías tanto para digitalizar y tener datos para manipularlos y utilizarlos con diferentes finalidades, como herramientas para controlar la producción y montaje en obra (Boton y Forgues, 2017).

Las tecnologías que pueden aplicarse en la construcción 4.0 son muy diversas y variadas, pero todas tienen en común que están centralizadas en el control y el dato, entonces dichas tecnologías deben de facilitar la integración de las herramientas de diseño con los entornos de fabricación, así como con la automatización de procesos internos mediante la digitalización de los parámetros relacionados. Por tanto, no existe una única tecnología existen todas aquellas que cumplan los requisitos antes mencionados, pero enumeramos, por ejemplo: la robótica, el internet de las cosas (IoT) junto con el Big Data (Lin y Cheung, 2020). Trabajar de manera colaborativa en la nube, para disponer de información procesada en tiempo real y en cualquier sitio del mundo. Aplicar la realidad virtual y aumentada para estudiar la integración de la construcción o para satisfacer las decisiones del cliente o usuario antes de su posterior fabricación. La simulación BIM, analizando diferentes conocimientos para la toma de decisiones en el modelo virtual, la impresión 3D para el maquetado tridimensional, o bien para la fabricación in situ de nuevos materiales impresos, generar la documentación para integrar el control y el dato en la cadena de suministro, por ejemplo, compartiendo el archivo IFC del modelo virtual. Uso de drones para maquetada digital del terreno, infografías y modelado 3D, etc.

En definitiva, la tecnología disponible facilita la integración de las herramientas de diseño con los entornos de fabricación, así como la automatización de procesos internos

mediante la digitalización. Todas las tecnologías disponibles requieren técnicas de control de gestión (herramientas), que se utilicen durante el diseño y sobre todo durante la ejecución de la construcción industrializada.

Las herramientas que actualmente se aplican en la construcción 4.0 para controlar la producción y montaje provienen de técnicas Lean Management, procedente del ámbito industrial e incorporada con éxito a la planificación y gestión de proyectos en construcción, ya que añaden valor al cliente. Ejemplo de estas herramientas son el sistema del último planificador (Last Planner System, "LPS") que es un sistema de producción que incorpora metodología Lean a la construcción para conseguir reducciones de tiempos del 30%, reduciendo el coste y aumentando calidad y seguridad. La producción en obra es, en general, poco predecible y muy compleja. El LPS consigue simplificarlo y aumentar su fiabilidad. De forma que, trabaja estructurada y colaborativamente la producción para que las tareas sigan un proceso (se planifiquen, se preparen, se liberen para ser realizadas, se comprometan y se rinda cuentas sobre lo realizado). Lean es un sistema de gestión de proyectos de construcción que persigue la mejora continua y maximizar el valor del producto final definido por el cliente. Con el desarrollo de la gestión integrada del proyecto IPD (Integrated Project Delivery) se integran Lean y BIM, donde los protocolos de control de producción se establecen en el modelo virtual. Encontramos otra herramienta en la construcción 4.0, como son los mapas de flujo de valor (Value Stream Mapping "VSM") esta herramienta permite visualizar todo el proceso del flujo identificando de una manera ágil las actividades que no generan valor, para eliminar desperdicios. Las herramientas anteriores se aplican tanto a la gestión fabril de los elementos constructivos como para su posterior montaje en el sitio, donde se realiza un control de tareas para gestionar la información contenida en el modelo BIM. Lean-Construction es otra herramienta de gestión asociada a los procesos de producción en construcción y ofrece la oportunidad de mejorar la construcción como proceso a través de la reducción de pérdidas, el aumento de la eficiencia, y la agregación de valor para el cliente (Koskela, 1992). En la construcción 4.0, antes de generar bienestar a partir del producto fabricado, se debería generar bienestar a partir de su proceso de fabricación, de tal forma que todos los trabajadores cuenten con condiciones de bienestar adecuadas en su trabajo, aplicando principios de desarrollo sostenible (Hill y Bowen, 2010). Un mayor grado de sostenibilidad, se entiende desde la adopción de metodologías Lean, que implican la reducción de residuos sólidos y recursos energéticos, establecer principios de la economía circular en base a el ciclo de vida de los materiales empleados, y sin olvidar lograr menores accidentes por mejoras en la seguridad y salud, aplicando criterios de bienestar laboral durante los procesos de construcción, mejorando significativamente la calidad de vida de los trabajadores (Shan et al., 2016).

### **3. Construcción Prefabricada versus Construcción Modular.**

La construcción modular consiste en una o más unidades de estructura elaboradas en una planta de fabricación lejos del lugar de la construcción (construcción offsite) (Lu y Korman, 2010, p. 1136), que posteriormente se transportan para su ensamblaje al lugar de construcción (Zhai et al., 2019), donde se terminan con el acabado, colocación de equipos y accesorios, es decir, trabajos de acabado, eléctricos, mecánicos e hidráulicos (Lu y Korman, 2010; Zhai et al., 2019). La construcción prefabricada se entiende como estructuras modulares, que encajan entre sí, y que siguen un modelo de construcción predefinido y más eficiente" ("Prefabricados y prefabricados: entiendan la diferencia", 2019). Se hizo una revisión de la literatura para encontrar las ventajas y desventajas de la prefabricación y de la construcción modular (Hammad et al., 2019; Li et al., 2016; Li et al., 2016; Li et al., 2018; Li et al., 2017; Li, 2019; Liu, 2018; Lu y Korman, 2010; Ostrowska-Wawryniuk, 2019; Zhai et al., 2019; Zhao, Liu y Mbachu, 2019) y fue posible resumir las ventajas y desventajas encontradas y pueden consultarse en la Tabla 1.

**Tabla 1. Comparativa Prefabricación versus Construcción Modular**

<b>VENTAJAS</b>	<b>Prefabricación</b>	<b>Construcción Modular</b>
Tecnología y construcción sostenible.	✓	✓
Disminución de residuos de construcción.	✓	✓
Disminución de desperdicio de material	✓	✓
Disminución del consumo de energía.	✓	✓
Disminución de los requisitos laborales	✓	✓
Disminución del tiempo de entrega del edificio, teniendo una construcción más rápida.	✓	✓
Disminución del coste de construcción.	✓	✓
Necesidad / dependencia laboral reducida	✓	✓
Mejora constructiva del proyecto (capacidad de construcción) que muestra un aumento en la calidad.	✓	✓
Estimación de costes mejorada	✓	✓
Mayor productividad	✓	
Mayor seguridad	✓	
Mayor control sobre el proceso de construcción.	✓	✓
Mayor calidad del entorno laboral y protección del medio ambiente.	✓	✓
Mejora del entorno construido.		✓
Disminución de las emisiones locales de gases de efecto invernadero.	✓	
Puede ser personalizado	✓	
<b>DESVENTAJAS</b>	<b>Prefabricación</b>	<b>Construcción Modular</b>
Proceso de fragmentación / discontinuidad	✓	✓
Mala interoperabilidad y fragmentación de la información.	✓	✓
Escasa información en tiempo real.	✓	
Dificultad para cumplir los plazos	✓	
Gestión ineficiente de recursos como recursos humanos y máquinas.	✓	✓
Producción ineficiente	✓	✓
Logística ineficiente	✓	✓
Montaje ineficiente de componentes prefabricados.	✓	✓
Planificación exigente de preparación de proyectos		✓
Limitaciones de colocación en el campo		✓
Limitaciones de acceso a la obra	✓	✓
No se puede personalizar		✓
Resistencia cultural y prejuicio social	✓	✓
El Banco no tiene ofertas atractivas para inversiones a muy corto plazo.	✓	✓
Transporte de los elementos.	✓	✓

Fuente: elaboración propia.

Si atendemos a las definiciones anteriores podemos deducir que la construcción modular siempre es prefabricada, pero la construcción prefabricada no siempre es

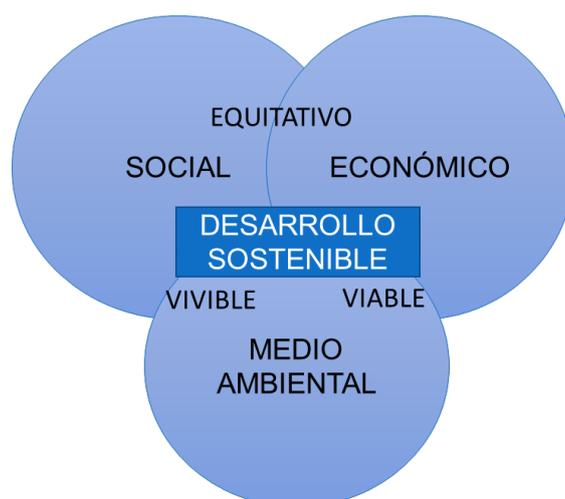
modular. La gran diferencia radica en el hecho de que la construcción modular se realiza en serie y la prefabricada se puede hacer solo en piezas por unidad. Por ejemplo, si tenemos un proyecto para una nave industrial, si es prefabricada, está compuesta por diferentes componentes como si fuera una sola pieza. En la construcción modular, los elementos se repiten indefinidamente, y el éxito arquitectónico de la edificación modular consiste en la forma en que se combinan los módulos prefabricados proporcionados por el fabricante. Existen diferentes formas de designar a la construcción industrializada, pero todas ellas igualmente son válidas para referirse al sistema constructivo que cada día está más presente y con tendencia creciente para el futuro. Por tanto, la construcción industrializada se presenta como un motor de cambio, como una alternativa a la construcción tradicional actual como el único modelo productivo en el sector. Conceptos como la rapidez, la rentabilidad, la flexibilidad, la sostenibilidad, la seguridad y los altos estándares de calidad por lo edificado, respetando el medioambiente, y evitando el impacto ambiental negativo, son valores que nos ofrece la construcción industrializada (Hammad et al., 2019; CZ Li, Xue, Li, Hong y Shen, 2018; CZ Li et al., 2017). Una de las primeras decisiones a la hora de abordar un proyecto de construcción industrializada es la definición de la unidad mínima, que tendrá una posterior repercusión sobre otras variables y condicionantes (tipología y escala de la edificación, coste de fabricación, complejidad del producto final, facilidad de transporte y montaje, etc). El número de dimensiones de dicha unidad es una de las elecciones con mayor trascendencia a este respecto, entre las cuales se pueden clasificar los elementos unidimensionales que suelen tener forma lineal (vigas, pilares, canaletas etc.) elementos bidimensionales o panelizados, que recuerdan a la forma plana o de superficie (fachadas o tabiques técnicos, etc.) o elementos tridimensionales o modulares siendo resultado del montaje de elementos lineales y bidimensionales, formando entre todos ellos el modulo, que será único o combinado con diferentes unidades modulares. Los componentes bidimensionales y tridimensionales, aportan mayor valor añadido a la construcción industrializada, y pueden variar en escala y complejidad (son parametrizados), así como integrar mayor o menor cantidad de elementos. Los primeros garantizan flexibilidad de uso y facilidad de transporte, mientras que los segundos pueden potencialmente ofrecer un mayor grado de integración (estancias completas construidas, etc.) y complejidad a costa del sacrificio de dicha flexibilidad.

#### **4. Desarrollo Sostenible y la Construcción con Enfoque 4.0.**

Por otra parte, la Economía Circular es un concepto relativamente reciente que aparece en el marco del desarrollo sostenible. Su objetivo es la producción de bienes y servicios de la forma más eficiente posible, reduciendo al máximo el consumo y el desperdicio de materias primas, agua, fuentes de energía y otros residuos. Este concepto de economía cambia la estructura de la misma, dejando a un lado el sistema de economía "lineal" utilizado hasta nuestros días y asumiendo un cambio a ciclo "circular", es decir, cerrar el ciclo de vida de los materiales, residuos, agua, energía y otros servicios, para minimizar la contaminación y los impactos ambientales negativos, haciendo sostenible el medio ambiente.

Como ejemplo de éxito de construcción circular, McDonough y Braungart, por encargo de la ciudad de Hannover (sede de la Exposición Mundial año 2000), elaboraron los "Principios de Hannover" que rigieron: el diseño, construcción, el entorno, de la exposición y que representaron un desarrollo sostenible para la ciudad, la región y el mundo entero. Estos principios son legítimos para cualquier dimensión de la creación humana, ya que defienden que el diseño, la construcción y la producción industrial, se pueden mantener dentro de los procesos de la naturaleza, utilizando materiales inocuos, más eficientes, y produciendo bienes sin generar residuos o elementos tóxicos que degraden el medio. En la Figura 1, se presenta el diagrama de los Principios de Hannover para la sostenibilidad (McDonough y Braungart, 2007).

**Figura 1. Diagrama de los principios de Hannover para la sostenibilidad.**



La construcción circular hace referencia a la aplicación de los principios de la economía circular al sector de la construcción. Es por esto que la construcción circular se establece como uno de los desafíos para el sector, que tiene que buscar diseños más sostenibles que reduzcan el consumo de energía y la contaminación. Según estudios del Foro Económico Mundial, la adopción de la economía circular en el sector de la construcción podría conseguir un ahorro energético de más del 30% a nivel mundial. Es por esto que el modelo de economía circular frente al lineal se impone cada vez más en el sector. La construcción tradicional, basada en el modelo de economía lineal (producir, usar y tirar), consume una gran cantidad de energía, recursos naturales limitados y genera un gran volumen de residuos, por eso para cumplir los principios de desarrollo sostenible se debe adoptar un modelo circular de recursos donde se trata de reutilizarlos insertándolos de nuevo en el proceso. En este momento, se deduce que la construcción industrializada puede ser la única que satisfaga la propuesta de la construcción sostenible, debido a que puede utilizar como materiales de construcción, materiales ecológicos, sostenibles, eficientes, y reutilizables, para mantener el modelo circular. Kaatz et al. (2005) definieron la construcción sostenible como la construcción que lograr un mayor desempeño ambiental de las través de la innovación técnica y mejora en la eficiencia de los materiales y componentes de la construcción. La construcción sostenible no se limita a la elección de materiales de construcción o sistemas constructivos, Saparauskas y Turskis (2006) establecieron que la construcción sostenible es la única vía para que la industria de la construcción alcance los objetivos del desarrollo sostenible.

Por tanto, la construcción sostenible se debe de concebir como un proceso de creación que va desde la elección del espacio y de los materiales a utilizar, hasta la proyección de la estructura y el desarrollo de la obra, respetando el medio ambiente, reduciendo la contaminación, y construyendo de forma más eficiente y sostenible, integrando lo construido en el entorno. Kibert (2013) define la construcción sostenible como la creación y manejo responsable de un entorno urbano saludable basado en la eficiencia de los recursos y principios ecológicos.

La Construcción Sostenible va unida a nivel social incorporando una primera intención para generar “bienestar social”, tanto para los clientes/usuarios de lo construido como para los trabajadores donde exista dignidad, igualdad y se dinamice la economía, sin alterar el capital natural y, como segunda intención lograr nuevas condiciones de trabajo “empleo verde” en los procesos de construcción, estableciendo buenas condiciones de bienestar de los trabajadores. Por tanto, la construcción sostenible implica sostenibilidad económica y fortalece la competitividad, empresas medioambientalmente responsables

y permite conservar la capacidad para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras (Chen, Okudan y Riley, 2010 ; Weaver et al., 2008).

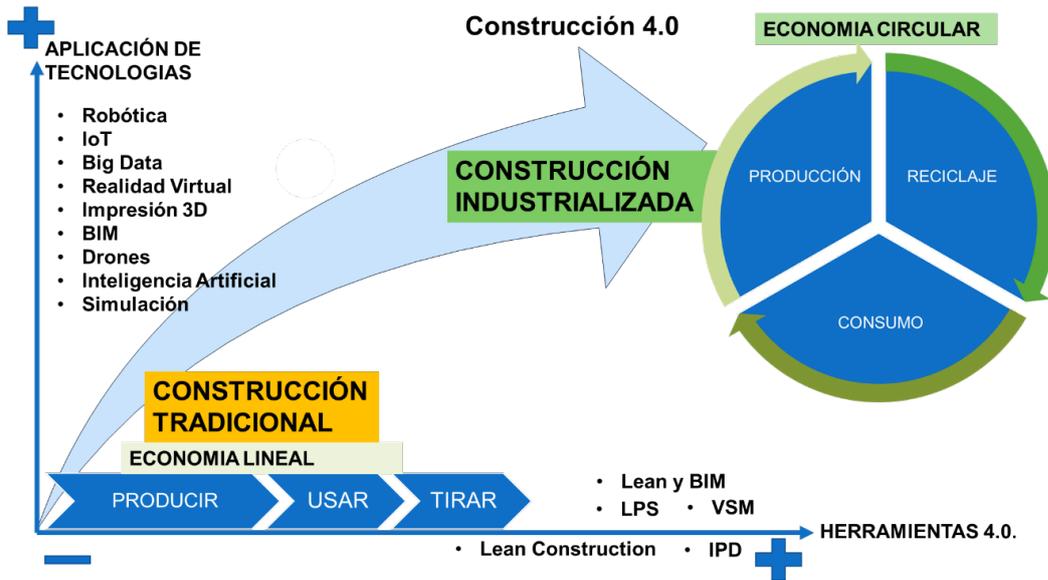
El proceso de construcción sostenible lo podemos resumir en los siguientes puntos:

- *Análisis del ciclo de vida de la construcción* para que facilite la toma de decisiones y se permita planificar estrategias de ecoeficiencia, mejorar los impactos medioambientales, fomentando un diseño en base a materiales más sostenibles y eficientes, para establecer un sistema de gestión de residuos de la construcción que fomente lo reutilizable.
- *Eficiencia energética*: para conseguir niveles de confort del usuario y con el mínimo gasto energético, aprovechando los recursos naturales del entorno, ya sea la vegetación, el viento, el sol o la humedad para instalar ñas condiciones adecuadas para las condiciones térmicas, acústicas y lumínicas del edificio.
- *Uso de materiales sostenibles y ecoeficientes*, para disminuir el impacto medioambiental.
- *Gestión eficiente y reciclaje de residuos*, para favorecer el modelo circular.

La revisión de la literatura que se realiza en los apartados anteriores ofrece una visión completa de lo que es la construcción 4.0 y los fundamentos de la construcción industrializada, herramientas utilizadas en el control de diseño y montaje, tecnologías emergentes que pueden utilizarse. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, son una llamada de Naciones Unidas a todos los países del mundo para afrontar los grandes desafíos a los que se enfrenta la humanidad y garantizar que todas las personas tengan las mismas oportunidades y puedan llevar una vida mejor sin comprometer nuestro planeta. Se ha podido razonar que las bases de la construcción 4.0, se adoptan siguiendo el concepto de economía circular. Con la construcción 4.0 se ha pasado de un modelo lineal de la construcción tradicional al que al ir añadiendo aplicación de tecnologías emergentes y la aplicación de herramientas 4.0 se comienza a elevar el nivel de la industrialización en el proceso de construcción, llegando a ser construcción industrializada con el uso extendido de ambas.

Las Naciones Unidas indican tres “pilares de la sostenibilidad”: económico, social y medioambiental (UN, 2002). Akadiri (2011) insiste que para que un desarrollo sea sostenible, se deben considerar los factores social, ecológico y económico. Du Plessis (2007) señaló que la relación entre los humanos y su entorno se encuentra determinada por una cierta cantidad de factores. Por ello, de los tres pilares básicos se fueron acoplado con el tiempo otros nuevos pilares de lo que el desarrollo sostenible se ha ido nutriendo, hasta que hoy podemos hablar de lo económico, social, medioambiental, ecológico, tecnológico, sostenibilidad, competitividad, igualdad, erradicación de la pobreza, bienestar laboral, crecimiento económico, etc. Respecto a la construcción, el termino construcción sostenible, es la única que se acerca a los objetivos del desarrollo sostenible (Zainul Abidin, 2010), y la construcción 4.0 será la única que pueda abastecer a la sociedad de todos los pilares marcados por el desarrollo sostenible. Actualmente, el rumbo de la industria de la construcción está cambiando debido a la preocupación por el entorno construido, y esto marca el inicio de un nuevo futuro para el sector que cambiara parar integrarse dentro del contexto más amplio de la agenda medioambiental (Das Gandhi N., Selladurai V., Santhi P. 2006). Prueba de lo anterior se encuentra en los planes políticos actuales para avanzar hacia las nuevas ciudades del futuro, “ciudades verdes inteligentes”. En la figura 2, representamos la construcción 4.0, donde a medida que se aumentan las herramientas 4.0 y la aplicación de tecnologías 4.0 vamos pasando de una construcción tradicional (-,-) referida a un modelo de economía lineal a una construcción más industrializada conforme a un modelo de economía circular, donde el tope estará la construcción 4.0. (+,+).

Figura 2: Construcción 4.0 y la Economía Circular.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 3 se representa un ciclo que relaciona aspectos del desarrollo sostenible con la construcción 4.0, como una vía no única para lograr mayor competitividad mayor bienestar social y medioambiental, en definitiva, mayor beneficio a la sociedad en general.

Figura 3: Desarrollo Sostenible y la Construcción 4.0



Fuente: Elaboración propia.

## 5. Conclusiones

Los objetivos de este trabajo son en primer lugar establecer la construcción industrializada bajo una perspectiva 4.0 a través de una revisión de la literatura, y, en segundo lugar, reflexionar sobre la aproximación de la construcción con un enfoque 4.0. hacia los principios de sostenibilidad y desarrollo sostenible para las sociedades del futuro. Estas son las ventajas que se desprenden de la construcción 4.0:

- ✓ Mayor cantidad de puestos de trabajo especializados y colaborativos lo que ocasionara mayor satisfacción laboral.
- ✓ Aumento de la productividad y con ello mejora del crecimiento económico del país y mejora de su competitividad internacional.
- ✓ Prevención y corrección de errores en la ejecución de la construcción incluso antes de que se produzcan en el sitio, gracias a la información digital.
- ✓ Aparición de nuevos modelos de negocio con un enfoque centrado en las personas y la tecnología.
- ✓ Maquinaria más precisa e inteligente para una mejor integración horizontal y vertical.
- ✓ Optimización de los procesos por medio de la calidad, seguridad y eficiencia de las nuevas tecnologías aplicadas.
- ✓ La interoperabilidad de los medios humanos y materiales mediante el uso de IoT, trabajo colaborativo en la nube y la robótica.
- ✓ La virtualización de los procesos constructivos para la mejora de los mismos.
- ✓ Una clara orientación para el servicio al cliente dándole el protagonismo en todas las fases de una obra, incluso desde la fase de diseño.
- ✓ Construcción modular para flexibilizar al máximo la respuesta en la obra, y reducir tiempo.

Es innegable que la construcción 4.0 sigue viviendo con barreras para su implementación, quedando mucho camino por recorrer. Algunos obstáculos son:

- ✓ La necesidad de industrialización de las empresas constructoras, desde la implementación de tecnologías como BIM.
- ✓ Cambiar la mentalidad social de que la construcción modular/prefabricada no satisface las necesidades sociales rompiendo con las barreras culturales.
- ✓ Acomodar los problemas con las cadenas de suministro para integrar todo con información en tiempo real.
- ✓ Remediar los problemas de montaje en medida de lo posible.

A pesar de los múltiples beneficios que la construcción industrializada ya puede aportar al sector AEC, existen también retos y barreras como se ha comentado que deben de ser superadas para lograr una mayor y mejor adopción tecnológica, y de ese modo renovar la sostenibilidad en un sector desfasado tecnológicamente hace décadas. Para ello, resulta imprescindible que también los mecanismos que regulan la financiación, la regulación normativa y/o la aprobación de licencias agilicen sus procesos y se adapten y faciliten la construcción industrializada. Nuestro estudio contribuye a la literatura existente presentando el proceso de industrialización del sector de la construcción como válido y no cómo único, para cumplir con los pilares del desarrollo sostenible. Para último, las sociedades del presente deben tomar conciencia de la importancia que tiene cambiar el modelo de producción lineal de la construcción tradicional, por un modelo de construcción sostenible cumpliendo el modelo circular, para satisfacer el bienestar de las generaciones futuras.

## 6. Referencias

- Ahmed A.L. & Kassem M. (2018). A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application *Automation in Construction* 96:102-127 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.017>
- Akadiri O. (2011), *Development of a multi-criteria approach for the selection of sustainable materials for building projects*. Unpublished Ph.D. thesis, School of Engineering and the Built Environment (SEBE), University of Wolver Hampton, U. K.
- Barrett, P. & Sexton, M.G. (1998). *Integrating to Innovate: Report for the Construction Industry Council, Construction Industry Council / Department of the Environment, Transport and the Regions: London. Page 2.*
- Boton, C. & Forgues, D. (2017). Construction industrialization and its integration: how tall wood buildings can show the right path towards construction 4.0. Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings. 10.29173/mocs64.
- Chen, Y.; Okudan, E.; Riley, R. (2010). Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. *Automation in construction*, (19) 2,235-244.
- Craveiro, F. & Duarte, J. & Bártolo, H. & Bartolo, P. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation in Construction*. 103. 251-267. 10.1016/j.autcon.2019.03.011.
- Dainty, A., Leiringer, R. Fernie, S. & Harty, C. (2017) BIM and the small construction firm: a critical perspective, *Building Research & Information*, 45:6, 696-709, <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1293940>
- Das Gandhi N., Selladurai V. & Santhi P. (2006). Unsustainable development to sustainable development: a conceptual model, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, (6), 654-672.
- Doely, P. K. (2014). 3D Printing: A New Dimension in Construction. Recuperado de <http://fwhtlaw.com/briefing-papers/3d-printing-newdimension-construction/>.
- Du Plessis C. (2007), A strategic framework for sustainable construction in developing countries. *Construction Management and Economics*, 25, (1),167-76.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2011). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors, Wiley.
- Elmualim, J. & Gilder, J. (2014) BIM: innovation in design management, influence and challenges of implementation, *Architectural Engineering and Design Management*, 10:3-4, 183-199, DOI: 10.1080/17452007.2013.821399
- Eriksson P.E. & Westerberg M. (2011). Effects of cooperative procurement procedures on construction project performance: A conceptual framework, *International Journal of Project Management*, 29,197-208.
- Flanagan R., Cattell K. & Jewell C. (2005). *Moving from construction productivity to construction competitiveness: Measuring value not output* University of Reading, <http://n.1asphost.com>.

- García de Soto, B. & Skibniewski, M. (2020). Future of robotics and automation in construction. 10.1201/9780429398100-15.
- García de Soto, B., Agustí-J, Isolda J., S. & Hunhevicz, J. (2019). Implications of Construction 4.0 to the workforce and organizational structures. *International Journal of Construction Management*. 10.1080/15623599.2019.1616414.
- Hammad, A. W. A., Akbarnezhad, A., Wu, P., Wang, X., & Haddad, A. (2019). Building information modelling-based framework to contrast conventional and modular construction methods through selected sustainability factors. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1264–1281.
- Harty, C (2008). Implementing innovation in construction: Contexts, relative boundedness and actor-network theory. *Construction Management and Economics*, 26(10), 1029-1041.
- Hill R., Bowen A. (1997). Sustainable construction: principles and a framework for attainment, *Construction Management and Economics*, 15, 223-239.
- Hossan, Md & Yeoh, Justin & Abbott, Ernest & Chua, D.. (2020). Domain-knowledge enriched BIM in Construction 4.0. 10.1201/9780429398100-17.
- Hussien, A. & Waraich, A. & Paes, D. (2020). A review of mixed-reality applications in Construction 4.0. 10.1201/9780429398100-7.
- Janssen J., McLoughlin S. (2008). *New Zealand's Productivity Performance*, New Zealand Treasury, Wellington 6015, New Zealand.
- Kaatz, E., Root, B. & Bowen, P. (2005). Broadening project participation through a modified building sustainability assessment. *Journal of Civil Engineering and Management*, 33(5),441-454.
- Kibert, C. (2013). *Sustainable Construction*, John Wiley & sons, USA.
- Koskela, L. (1992), *Application of the New Philosophy to Construction*. CIFE Technical Report 71. Stanford University.
- Koskela, L. (2003). Theory and practice of lean construction: achievements and challenges. Proceedings of the 3rd Nordic Conference on Construction Economics and Organization. Lund, 23 - 24 April 2003. Hansson, Bengt & Landin, Anne (eds). Lund University (2003), 239 - 256.
- Li, C. Z., Hong, J., Xue, F., Shen, G. Q., Xu, X., & Luo, L. (2016). Swot analysis and Internet of Things-enable platform for prefabrication housing production in Hong Kong. *Habitat International*, 57, 74–87.
- Li, C. Z., Hong, J., Xue, F., Shen, G. Q., Xu, X., & Mok, M. K. (2016). Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: a social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, (134), 482–494.
- Li, C. Z., Xue, F., Li, X., Hong, J., & Shen, G. Q. (2018). An Internet of Things-enable BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. *Automation in Construction*, 89, 146–161.
- Li, C. Z., Zhong, R. Y., Xue, F., Xu, G., Chen, K., Huang, G. C., & Shen, G. Q. (2017). Integrating RFID and BIM technologies for mitigating risks and improving schedule performance of prefabricated house construction. *Journal of Cleaner Production*, 165, 1048–1062.

- Li, X., Shen, G. Q., Wu, P., & Yue, T. (2019). Integrating Building Information Modeling and prefabrication housing production. *Automation in Construction*, 100, 46–60.
- Lin, Yu-Cheng & Cheung, Weng-Fong. (2020). Internet of Things (IoT) and internet enabled physical devices for Construction 4.0. 10.1201/9780429398100-18.
- Liu, H., Singh, G., Lu, M., Bouferguene, A., & Al-Hussein, M. (2018). BIM-based automated design and planning for boarding of light-frame residential buildings. *Automation in Construction*, 89, 235–249.
- Lu, N., & Korman, T. M. (2010). *Opportunities for advancement of modular construction projects using Building Implementation Modeling (BIM)*. Construction Research Congress, 1, 136–1145.
- Maskuriy, R. & Selamat, A. & Maresova, P. & Krejcar, O. & Oladipo D. (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective. *Economies*. 7. 14. 10.3390/economies7030068.
- Mcdonough, W. & Braungart, M. (2007). *The Hannover Principles: Design for Sustainability*. Hamburgo. ISBN: 97815-5963-635-3.
- Oesterreich T.D. & Teuteberg F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry, *Computers in Industry* . 83,121–139.
- Ostrowska-Wawryniuk, K. (2019). BIM-aided prefabrication for minimum waste DIY timber houses. *Data - Building Information Modelling*, 1(eCAADe 37/SIGraDi 23), 251–258.
- Pré-fabricados e pré-moldados: entenda a diferença. (2019). Retrieved February 11, 2020, from Cassol pré-fabricados website: <http://www.cassol.ind.br/pre-fabricados-diferenca/>
- Saparauskas, J. & Turskis Z. (2006). Evaluation of construction sustainability by multiple criteria methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 12, (4),321-326.
- Schwalbe, K. (2010). *Information Technology: Project Management*, Cengage Learning.
- Shan, Y., Imran, H., Lewis, P. & Zhai, D. (2016). Investigating the Latent Factors of Quality of Work-Life Affecting Construction Craft Worker Job Satisfaction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143.
- Spisakova, M. & Kozlovska, M. (2019). Options of Customization in Industrialized Methods of Construction in Terms of Construction 4.0. 10.1007/978-3-030-27011-7\_56.
- Tezel A, Aziz Z (2017). From conventional to IT based visual management: a conceptual discussion for lean construction, *ITcon* 22, 220-246, <https://www.itcon.org/2017/12>
- UN (2002), *Report of the World Summit on Sustainable Development. Johannesburg, South Africa, United Nations*, New York, NY.
- Villena, F., García-Segura T. & Pellicer, E. (2020). *Drivers of Innovation using BIM in Architecture, Engineering and Construction Firms*. The ASCE Construction Research Congress (CRC) 2020, Arizona State University, EE.UU.

Weaver, A. Pope, J.Saunders, A. & Lochner, A. (2008). Contributing to sustainability as an environmental impact assessment practitioner. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26 (2), 91-98.

Whyte J (2003). Industrial applications of virtual reality in architecture and construction, ITcon 8, 43-50, Special issue Virtual Reality Technology in Architecture and Construction, <https://www.itcon.org/2003/4>

Zainul Abidin N. (2010). Investigating the awareness and application of sustainable construction concept by Malaysian developers, *Habitat International*, 34 (4), 421-426.

Zhai, Y., Chen, K., Zhou, J. X., Cao, J., Lyu, Z., Jin, X. & Huang, G. Q. (2019). An Internet of Things-enabled BIM platform for modular integrated construction: a case study in Hong Kong. *Advanced Engineering Informatics*, 42, 100997.

Zhao, L., Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). Optimization of the supplier selection process in prefabrication using BIM. *Buildings* (2075-5309), 9(10), 222.

### **Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible**

