

LA INGENIERÍA CIVIL EVOLUCIONA CON LA INDUSTRIA 4.0



Maira Alejandra Mogollón Gómez - 1103341

Ensayo presentado como opción de grado para optar por el título de:

INGENIERA CIVIL

Misión internacional en Gerencia de Proyectos y Pensamiento Estratégico (virtual),
Universidad Central de La Florida – Estados Unidos

Ing. Martha Lissette Sánchez Cruz

Tutor

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de ingeniería

Programa de ingeniería civil

Bogotá, agosto 2022

Resumen

La automatización de procesos análogos, los avances en sistemas de información, el almacenamiento, selección y procesamiento de datos, así como el desarrollo de inteligencia artificial son algunos de los procesos digitales que componen la Cuarta Revolución Industrial. Estas nuevas tecnologías tienen por objetivo optimizar la ejecución de actividades que se realizan a nivel mundial en todo tipo de industrias e incluso simplificar algunas actividades que hacen parte de la cotidianidad de las personas como las transacciones bancarias. El presente trabajo describe las tecnologías que proponen una evolución en el sector de la construcción y en general en todas aquellas áreas del conocimiento que están involucradas en el desarrollo de obras civiles; estas son: Modelado de Información de Construcción (BIM), el Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT/DRON), la Impresión 3D y la Realidad virtual.

Abstract

The automation of analog processes, advances in information systems, data storage, selection and processing, as well as the development of artificial intelligence are some of the digital processes that make up the Fourth Industrial Revolution. These new technologies aim to optimize the execution of activities that are performed worldwide in all types of industries and even simplify some activities that are part of the daily life of people such as banking transactions. This paper describes the technologies that propose an evolution in the construction sector and in general in all those areas of knowledge that are involved in the development of civil works; these are: Building Information Modeling (BIM), the Unmanned Aerial Vehicle (UAV/DRON), 3D Printing and Virtual Reality.

LA INGENIERÍA CIVIL EVOLUCIONA CON LA INDUSTRIA 4.0

Luego de la segunda guerra mundial, diferentes países requerían que la reactivación económica se diera de forma acelerada, es allí donde surge la Tercera Revolución Industrial en la cual se dan los primeros indicios de automatización de procesos análogos en las fábricas de producción gracias a la llegada de las computadoras, la implementación de chips y softwares para dicha automatización y la conexión de las personas a internet. Sin embargo, no fue sino hasta el año 2010 donde el estudio y desarrollo de nuevas tecnologías alcanzó uno de sus puntos máximos, de allí en adelante el desarrollo tecnológico se ha dado de manera exponencial; todos estos avances derivados de sistemas físicos, biológicos y digitales componen la Cuarta Revolución Industrial, la cual incluye “El internet de las cosas”, Computación en la nube, Robótica e inteligencia artificial. (Sydle, 2022)

La Industria 4.0 (como también es conocida) tiene como objetivo principal mejorar y optimizar la ejecución de diferentes procesos en todo tipo de industrias mediante la automatización de estos, dicha automatización se logra a través del uso de herramientas digitales, tales como las computadoras, máquinas o tecnología inteligente y robots (robots colaborativos). Algunos de los beneficios que trae consigo la Industria 4.0 son: eficiencia y optimización de las operaciones, velocidad para adaptarse a los cambios, mejora continua, mantenimiento predictivo, procesos más sostenibles, menor cantidad de errores y desperdicios, entre otros (Sydle, 2022). Dado que las tecnologías de la Industria 4.0 son aplicables a diferentes sectores de la industria, este trabajo se centrará en la descripción de las herramientas que plantean y/o que ya han proporcionado una evolución o avance en la Ingeniería Civil y el desarrollo de obras civiles. La implementación de herramientas tecnológicas en la ejecución de obras civiles se conoce como “Construcción 4.0” y aunque actualmente no cuenta con una

definición consensuada y estructurada, es posible afirmar que la Construcción 4.0 inició con la creación e implementación del modelo conocido como “Virtual Building” desarrollado por una empresa húngara en 1987, con el paso del tiempo este modelo preliminar evolucionó a lo que conocemos actualmente como Building Information Modeling (BIM).

El modelo BIM se define como una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes (Building Smart, 2014 como se citó en *Mateus & Paredes, 2020*). BIM concierne tanto la geometría, la relación con el espacio, la información geográfica, como las cantidades y las propiedades de los componentes de un edificio (*BIM Fórum Chile, 2015*), ya que este es un modelo multidisciplinario la administración de la información generada en cada una de las fases de desarrollo del proyecto (Planificación, diseño, construcción y operación) permite que se incluyan conexiones de equipos, flujos de trabajo y que constantemente se busquen formas de trabajo que de manera eficiente proporcionen un resultado final de mejor calidad.

Con la implementación de esta metodología se busca que el diseño y construcción de obras civiles se haga de manera más rápida y eficiente pues la demanda de edificaciones, vías, puentes, túneles, sistemas de saneamiento y alcantarillado u obras de infraestructura aumenta velozmente con el incremento poblacional; estas nuevas obras de infraestructura no solo deben suplir la demanda, abarcar las necesidades de las nuevas generaciones sino que también deben proporcionar espacios más inteligentes, duraderos y amigables con el medio ambiente (*Autodesk, s.f*). Si hacemos referencia directamente a la ejecución del proyecto, el modelo BIM permite que el costo y el cronograma de desarrollo sean los establecidos en las fases de diseño y planeación, esto gracias a que la colaboración de especialistas de diferentes áreas se hace en

tiempo real, evitando pérdidas de tiempo e inconsistencias en los datos generados; una herramienta fundamental para esto y que complementa el modelo BIM son los “gemelos digitales” (Digital Twin – DT) estos son una representación virtual de la realidad, estructurada de tal forma que ayuda en la toma de decisiones en tiempo real con respecto al diseño, construcción y operatividad de las edificaciones. En la fase de diseño, un gemelo digital permite analizar las alternativas de construcción mediante simulaciones. Durante la construcción, la importancia de los gemelos digitales radica en el monitoreo y seguimiento que se le hace a la ejecución de obra mediante drones, sensores y sistemas de monitoreo que a su vez almacenan dicha información en el modelo virtual. En la fase de operatividad, un DT interviene en la implementación de nuevos sistemas (Sistemas de detección de incendios, sistemas HVAC, eléctricos), mantenimiento preventivo, mejoras arquitectónicas y reforzamientos estructurales (*Prada, Galán, Pitarch, Sarabia y Gutiérrez, 2022*).

En segundo lugar y no menos importante se encuentran los drones. Si bien los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) no hacen parte de la industria 4.0 pues su creación se debe al desarrollo tecnológico militar derivado de la segunda guerra mundial; su implementación en la ingeniería civil si hace parte de la construcción 4.0 y es que desde hace varios años se han empleado este tipo de herramientas para el control y monitoreo de ejecución de obra. Sin embargo, actualmente su uso es mucho más amplio y abarca las distintas fases de desarrollo de un proyecto (*Puerta, 2015*).

En la fase preliminar de estudios y diseño, los drones se emplean para realizar levantamientos topográficos mediante la aerofotogrametría o los sensores LIDAR. Con los sensores LIDAR es posible obtener una cantidad considerable de datos, los cuales se

caracterizan por la información que en sí mismos contienen como la elevación de los puntos, la distancia entre puntos y las coordenadas geoespaciales de los mismos, esto gracias a la incorporación de GPS o sistemas de posicionamiento por satélite (GNSS); el procesamiento de estas nubes de puntos no solo genera modelos 3D sobre la topografía del terreno sino también mapas de intensidad que funcionan como fotografías aéreas cuando la zona de estudio no cuenta con estas; esta tecnología es ideal para mapear áreas de difícil acceso. El uso de la fotogrametría aérea también proporciona modelos 3D de la superficie del terreno a partir de fotografías, pero en este caso estos modelos son ideales para el cálculo de áreas y volúmenes en diferentes zonas del mapa; la precisión de los datos obtenidos depende de la cantidad de fotografías recolectadas, el trazado que se plantee para realizar el levantamiento, el tipo de cámara y la experticia del operario del Dron. En la etapa de construcción, los drones se emplean para el monitoreo y control tanto del estado de la obra como la estabilidad de taludes (en mega obras); en el primer caso los drones deben estar equipados con cámaras de buena calidad pero no requieren de una funcionalidad o característica específica, mientras que en el segundo caso se requieren cámaras termográficas o multiespectrales; este tipo de cámaras también se emplean en la etapa de operación del proyecto para monitorear el estado de las construcciones y su funcionalidad (*Geosystem, 2020*). Por sus características y componentes el tipo de dron ideal para las etapas de construcción y operatividad es el multirotor ya que permite mayor libertad de maniobra y puede permanecer estático durante algunas fases del vuelo. Para la fase de estudios y diseños es ideal el dron de ala fija, ya que está diseñado para trabajar en espacios más amplios.

Otra de las tecnologías que tampoco hace parte de la cuarta revolución industrial, pero que promete grandes avances a nivel social en la era digital, es la impresión 3D. Si bien, esta

herramienta ha sido empleada desde su invención en diferentes campos como: la bioingeniería, fabricación personalizada, ingeniería aeroespacial y el sector automotriz, con la llegada de la Construcción 4.0 se ha buscado que tome protagonismo dentro de este sector. Inicialmente esta herramienta se ha utilizado para generar maquetas 3D o prototipos de edificaciones y una gran variedad de proyectos, esto se realiza con el fin de ofrecerles al diseñador, el inversionista y al constructor una visión más real del proyecto a desarrollar (sujeto a cambios); proporciona una facilidad de entendimiento sobre cómo se estructurará el proyecto (ya terminado) para quienes no son especialistas o no poseen conocimientos sobre como leer un plano arquitectónico o estructural, además de ser un atractivo visual dentro de la fase de negociaciones. De acuerdo a los usos mencionados anteriormente, estos modelos tridimensionales se clasifican respectivamente en: Maqueta conceptual (No requiere un gran nivel de detalle y terminación), Maqueta de trabajo (se asemeja al modelo del proyecto ya finalizado) y la maqueta de marketing (*Herrera, 2017*). En menor cantidad, pero de igual importancia se generan maquetas 3D sobre levantamientos topográficos y superficies del terreno, estas se emplean para analizar con mayor detenimiento el movimiento de tierras y la ubicación geoespacial de las estructuras. Sin embargo, los estudios e investigaciones realizadas durante las últimas 2 décadas se han centrado en el desarrollo de modelos que permitan la impresión 3D de elementos prefabricados en concreto, el modelo principal y más eficiente actualmente se conoce como:

- **Contour Crafting:** Esta metodología consiste en la creación de capas compuestas por polímeros, materiales cerámicos, cementos, sustancias aglutinantes, aditivos acelerantes y fibras; dichas capas son generadas una sobre otra por el cabezal de extrusión del sistema de impresión en base a la geometría proporcionada por el modelo CAD (*Campillo, 2017*). Dado el tamaño de los elementos prefabricados que se requieren para las edificaciones

no se emplea una impresora 3D tradicional sino un sistema de impresión formado por dos pilares principales conectados entre sí por una viga transversal que aloja el cabezal de impresión/extrusión, este cuenta con dos paletas ubicadas alrededor de la boquilla con el fin de evitar que el material se deposite por fuera del área de impresión, así como para controlar la inclinación de las capas (*Mahecha, 2021*).



Figura 1. Contour Crafting. Tomado de: <https://conconcreto.com/lo-que-nos-diferencia/#innovacion-transformacion>

El sistema de impresión 3D más grande de Latinoamérica se encuentra en Colombia, fue desarrollado por la Constructora Conconcreto en el año 2016 y con él se han dado los primeros pasos hacia la automatización constructiva en el país (*Fierros, 2021*). Esta constructora ha desarrollado impresiones de gran tamaño como la portería del parque Industrial Logika Siberia, la cual tiene una longitud de 22 metros y se elaboró con 21 piezas impresas en concreto; sin embargo, el mayor logro de la constructora hasta el momento es la construcción del primer módulo habitacional conocido como casa origami compuesto por 16 piezas que fueron impresas en un aproximado de 26 horas. Este módulo es completamente habitable por personas además de ser amigable con el medio ambiente, su ensamblaje tomó alrededor de 3 meses y el costo

total del proyecto está cerca de los setenta millones de pesos colombianos. Actualmente, Concreto está enfocada en posicionar la impresión 3D de elementos en concreto como un proceso constructivo rentable y eficaz para la elaboración de viviendas de interés social (VIS).

Dentro de las tecnologías que nos presenta la Industria 4.0 se encuentran la Realidad Virtual, aunque esta herramienta no genera un impacto tan impresionante y vasto como las tecnologías mencionadas con anterioridad, la Realidad Virtual (RV) si proporciona una perspectiva diferente dentro de la Ingeniería Civil y el desarrollo de obras civiles. La RV se conoce como la creación mediante el uso de dispositivos tecnológicos de objetos o situaciones no reales pero que son aceptadas como tal por los observadores (*S. C – Y. Lu et al, 1999, como se citó en Villegas, 2012*), esta se clasifica en dos:

- Realidad virtual no inmersiva: Es aquella que permite una visualización tridimensional de los proyectos generada a partir de la modelación con un software especializado; se relaciona directamente con los modelos 3D tradicionales que ya se han mencionado. Como su nombre lo indica es no inmersiva, por tanto, no le brinda al usuario una sensación de presencialidad dentro del proyecto
- Realidad virtual inmersiva: También se basa en modelos 3D, sin embargo, esta si le brinda al usuario una sensación de presencialidad dentro del proyecto lo que mejora la interacción con el mismo.

Aunque ambas tipologías son útiles, la que se presenta como una oportunidad de evolución es la realidad virtual de inmersión. Actualmente es implementada en el desarrollo de obras civiles en la fase de estudios y diseños específicamente en los levantamientos topográficos y estudios de suelos, pues una vez realizado el levantamiento topográfico y generado el modelo

3D del terreno, se lleva a cabo el análisis y toma de decisiones con respecto a los cortes y terraplenes que deben realizarse, optimizando el espacio, las maniobras de los equipos, la mano de obra y los costos de esta etapa de la construcción. Si bien estos análisis ya se realizan con los modelos generados de forma tradicional, permitirles a los especialistas la interacción directa con el terreno puede resultar más eficaz, ya que es mucho más sencillo tomar decisiones cuando se visualiza el proyecto como un “todo” y no por fases como se hace comúnmente.

Según la firma consultora McKinsey, en México y Colombia el costo de las obras públicas se extiende hasta un ochenta por ciento (80%) y su tiempo de desarrollo hasta un treinta y cinco por ciento (35%), si pensamos en la magnitud de estas cifras podemos afirmar que la metodología que actualmente emplean estos países para el desarrollo de obras es deficiente, no solo porque excede los costos y programación planteadas inicialmente, sino porque los retrasos y costos excesivos reducen considerablemente el desarrollo de más proyectos. Es por ello que las tecnologías de la Industria 4.0 plantean una gran evolución en la Ingeniería Civil y el desarrollo de obras civiles, aunque aún su divulgación, enseñanza, manejo e implementación no sea masiva y Colombia sea uno de los países con mayor retraso tecnológico en el sector de la construcción si existe la probabilidad de que durante los próximos años esto cambie.

En primera instancia, el estado colombiano debe reglamentar el uso del modelo BIM para el desarrollo de proyectos, inicialmente para las obras públicas y posteriormente para el sector privado, pues en otros países donde esta metodología es más común se ha evidenciado que a largo plazo las estructuras requieren menor mantenimiento por tanto se reducen estos costos, los riesgos generales que se pueden presentar durante el desarrollo del proyecto también se reducen, el costo global de la edificación coincide con el previsto durante la etapa de planeación

o presenta variaciones mínimas. Dado que dentro de los usos del modelo BIM se generan análisis de rendimiento energético, análisis estructural, análisis de ingeniería y de sustentabilidad, la calidad final de la edificación aumenta, así mismo es más factible realizar diseños que puedan competir y optar por una certificación para edificaciones sustentables como LEED y BREEAM. Si adicionalmente se fomenta el uso de drones y la realidad virtual de inmersión, los niveles de optimización en las fases de estudios y diseño, de planeación y construcción aumentan. Finalmente, el plus de la construcción 4.0 se basa en conjugar la impresión 3D de elementos en concreto con estas herramientas digitales para lograr “construcciones en masa” de alta calidad. Sin embargo, el éxito de la Construcción 4.0 en el país no depende netamente de la reglamentación e implementación de las tecnologías aquí presentadas, un aspecto indispensable es la preparación cognitiva y académica de los futuros ingenieros civiles, pues la toma de decisiones sigue siendo cuestión del hombre, por tanto, este debe prepararse para entender los software convencionales e innovadores de diseño, analizar y comprender los resultados que se obtienen a partir de la modelación

BIBLIOGRAFÍA

- Campillo, M. (2017). *Prefabricación en la arquitectura: Impresión 3D en hormigón*.
https://oa.upm.es/47556/1/TFG_Campillo_Mejias_Miriam.pdf
- Herrera, O. (2017). *Impresión 3D: Proyectos de Ingeniería y Construcción*
https://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/4589/a120166_Herrera_O_Impresion_3d_de_proyectos_de_2017_tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LIDAR vs. Fotogrametría para topografía aérea. (2020). Geosystem.
<https://www.geosysteming.com/sistemas-uav/lidar-vs-fotogrametria-para-topografia-aerea/>
- Mahecha, J. D. (2021). *Análisis de la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia aplicando la metodología “Desing Thinking”*

- https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26729/1/506470_MAHECHA.pdf
- Mateus-Malagón, J. A., & Paredes-Acosta, J. A. (2020). *Análisis de tiempos y costos de la implementación de impresoras 3d para proyectos de construcción desarrollados en Colombia con metodología BIM*.
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24461>
- Prada, C., Galán-Casado, S., Pitarch, J.L., Sarabia, D., Galán, A., Gutiérrez G. (2022). *Digital Twins in the Process Industry*. <http://ojs.upv.es/index.php/RIAI/article/view/16901>
- Puerta, C. (2015). *Tecnología DRONE en levantamientos topográficos*.
https://www.academia.edu/19589719/tecnolog%C3%8da_drone_en_levantamientos_topogr%C3%81ficos
- Villegas, A. (2012). *Realidad virtual en el sector de la construcción*.
<https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/695>
- Tecnologías de la industria 4.0: ¿Qué es y cómo funciona? (2022, 17 de enero). *Sydle*.
<https://www.sydle.com/es/blog/tecnologias-de-la-industria-4-0-60e486e2b2503757978621a0/>
- ¿Qué es BIM? (2015, 28 de abril). *BIM Forum Chile*. <https://bimforum.cl/2015/04/28/noticias>
- ¿Qué es BIM? (s.f). *Building Smart*. <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- ¿Cuáles son las ventajas de BIM? (s.f). *Autodesk*.
<https://www.autodesk.mx/solutions/bim/benefits-of-bim#:~:text=Entre%20las%20ventajas%20de%20BIM,eficaces%20y%20obtener%20mejores%20resultados>.
- Impresora 3D de gran formato: ¿El futuro de la construcción? (2021, 3 de mayo). *Fierros*.
<https://www.fierros.com.co/noticias/impresora-3d-de-gran-formato-el-futuro-de-la-construccion>