

# **Industria 4.0 en la Ingeniería Civil**



**Autora:**

**Cecy Carolina Parra Oyola – 1102868**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Ingeniera Civil**

**Tutor:**

**Leonardo Augusto Fonseca Barrera**

**Universidad Militar Nueva Granada**

**Facultad de Ingeniería**

**Programa de Ingeniería Civil**

**Bogotá, 2022**

## **Resumen**

La Cuarta Revolución Industrial es la composición de sistemas físicos, biológicos y digitales donde el objetivo principal es mejorar y optimizar los procesos cotidianos de la vida humana. El presente trabajo describe con más detalles en que consiste esta revolución de la Industria 4.0 y como está ha influido en la construcción, dando así origen a la Construcción 4.0, además en este trabajo encontrará un explicación de algunos de los avances que han surgido en la Ingeniería Civil gracias a la era 4.0 y en este documento hallará específicamente los siguientes avances tecnológicos: el Modelado de Información de Construcción (BIM), el Edificio de Ciencias de la Universidad EAFIT, el Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) y las Fotografías a 360 grados.

## **Abstract**

The Fourth Industrial Revolution is the composition of physical, biological and digital systems where the main objective is to improve and optimize the daily processes of human life. This work describes in more detail what this Industry 4.0 revolution consists of and how it has influenced construction, thus giving rise to Construction 4.0, in addition, in this work you will find an explanation of some of the advances that have arisen in the Civil Engineering thanks to the 4.0 era and in this document you will find specifically the following technological advances: Building Information Modeling (BIM), the EAFIT University Science Building, the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and 360 Photos degrees.

## Introducción

La Cuarta Revolución Industrial también conocida como Industria 4.0 es una evolución digital de la Tercera Revolución Industrial, ya que, la Industria 4.0 adopta el uso de las computadoras y la automatización de la Tercera Revolución y lo enriquece con sistemas autónomos y tecnología inteligente sustentados por aprendizaje automático y datos. Según (Marr, 2020) la fábrica inteligente y la Industria 4.0 son una realidad gracias a una composición de: el internet de los sistemas, el internet de las cosas y los sistemas ciberfísicos. De esta revolución se tiene como beneficio fabricas con más productividad y más eficiencia que generan menos desperdicios esto es debido a que las máquinas inteligentes tienen acceso a una gran variedad de datos que las hacen cada vez más inteligentes y es por esto que las máquinas al estar conectadas entre sí, permiten un intercambio, una creación, un almacenamiento y un análisis de información el cual muestra el gran valor y el extraordinario potencial de la Industria 4.0 en todos los ámbitos. En resumen, la Industria 4.0 “se refiere a la interconexión inteligente de máquinas y procesos para la industria con la ayuda de tecnologías de la información y la comunicación” (i-SCOOP, 2019).

La Industria 4.0 es una innovación que se puede aplicar a todos los ámbitos de la vida cotidiana es por esto que en el presente trabajo se enfocará específicamente en la rama de la Ingeniería Civil, se recopilará y describirá algunos de los avances que se han tenido en esta importante y reconocida profesión. Actualmente se usa con más frecuencia el término Construcción 4.0 para hacer referencia a esta revolución en la construcción, sin embargo, hoy en día no se tiene aún un consenso acerca del significado real de este término. A pesar de esto para obtener más claridad, se enunciará una definición que se tiene de este concepto: la Construcción 4.0 “lo ven como un medio para encontrar una complementariedad coherente entre los principales enfoques tecnológicos emergentes en la industria de la construcción” (CanBIM, 2019).

## **Modelado de Información de Construcción (BIM)**

El aporte de la Industria 4.0 en la construcción generó un vínculo descentralizado entre el ciberespacio y el espacio físico. En este momento con el método de BIM se obtuvo la unión de estos dos espacios en la construcción. El BIM se puede definir como un método que actualmente se usa para desarrollar e impulsar el trabajo colaborativo, generando como resultado un modelo virtual que integra toda la información del ciclo de vida de un proyecto, cuya finalidad es reducir los imprevistos con respecto a los cambios que se puedan presentar durante el desarrollo de este. De acuerdo con (CanBIM, 2019) el enfoque tecnológico de esta metodología permite

(...) por ejemplo, es posible tener modelos numéricos completos de un proyecto de construcción e incluso crear un vínculo bidireccional entre el sitio de construcción y estos modelos. Sin embargo, la presencia del ser humano es necesaria para mantener y gestionar este vínculo. Con el advenimiento de la Construcción 4.0, una serie de tecnologías irán reemplazando gradualmente este papel del ser humano, a fin de reducir la intervención humana y tender hacia una fusión descentralizada entre la realidad física y su representación en el ciberespacio.

Con la innovación de la Construcción 4.0 se espera obtener una sistematización y una automatización de todo el ciclo de vida de un proyecto. Para lograr esto, se realiza mediante la implementación de gemelos digitales, según (Herranz, 2021) “un gemelo digital se crea en un programa de ordenador que usa datos del mundo real para recrear simulaciones que pueden predecir cómo funcionará un producto o proceso”. Los gemelos digitales se usan en cada una de las fases del proyecto, estas son: el diseño, la programación, la planificación, la construcción y la operación. En la etapa de diseño del proyecto, el uso de los gemelos digitales permiten realizar

simulaciones de la estructura y esto a su vez nos permite cuestionar el boceto de la edificación, las alternativas de construcción, la sostenibilidad y la rentabilidad del proyecto. En la etapa de construcción del proyecto, se implementa más tecnología para que complemente el uso de los gemelos digitales, porque en esta etapa se necesita automatizar su vínculo con el entorno real de la obra. La principal tecnología implementada son los sistemas de producción ciberfísica (CPPS), esta tecnología contiene sistemas de monitoreo, drones, robótica integrada y sensores. En la etapa de operación del proyecto, se monitorea el desempeño de la estructura mediante el uso de sensores de posición continua (CPS), el internet de las cosas y el BIM, y de acuerdo con esto se estructura un método práctico para la gestión del mantenimiento preventivo.

La Industria 4.0 trajo consigo una evolución y una serie de transformaciones al sector de la construcción, tanto que de esta se da el origen de la Construcción 4.0, de este modelo innovador se busca que el sector progrese generando modificaciones en la producción, industrializando los procedimientos constructivos y mediante la digitalización se renueve los modelos de negocios. La implementación de este modelo trae consigo muchos beneficios al sector de la construcción entre ellos están: un ahorro de energía en la etapa de construcción y en la etapa operativa de los proyectos, las edificaciones cumplirán con el presupuesto y el cronograma determinado en la etapa de diseño y en la etapa de planificación, el uso de herramientas tecnológicas como el almacenamiento en la nube y el Big Data generarán una interoperabilidad entre los recursos y el personal además permitirá obtener información en tiempo real que mejorará el proceso de toma de decisiones, aumentará la producción en el sector y se tendrá un mayor acercamiento a la preferencias y necesidades de los clientes. Todo esto es posible gracias a una combinación de todos los elementos y componentes que constituyen un proyecto en 3D (el coste económico, la durabilidad, el tiempo de ejecución, la sostenibilidad, etc.) y es por esto que gracias a la

metodología del BIM el sector de la construcción ya puede lograr esto, como resultado el BIM nos permite trabajar en tiempo real una base de datos central (ciberespacio) para seguir y controlar cada una de las especificaciones del ciclo de vida de un proyecto, dándonos así la oportunidad de prevenir y corregir los imprevistos, los errores, las fallas, etc. en lo virtual y que no se presenten en la realidad (espacio físico).

### **Edificio de Ciencias de la Universidad EAFIT**

Esta edificación es un ejemplo de implementación de la tecnología en los procesos constructivos, la estructura se encuentra en el país de Colombia más específicamente en la ciudad de Medellín, Antioquia. La construcción cuenta con ocho pisos, 13.600 metros cuadrados y el principal uso de este edificio es para laboratorios y oficinas de la universidad. En cuanto a su construcción ha sido una de las más complejas de la ciudad, ya que, los laboratorios cuentan con todos los requisitos exigidos en cuanto disipación, presión, energía y demás elementos que son necesarios para su apropiado funcionamiento, además en la base de la estructura se encuentra ocho sistemas de aislación sísmica, lo que certifica mayor seguridad al momento de que ocurra un terremoto y así se preserva no solo la vida de las personas que se encuentren en el edificio y sino también la operación de la edificación.

Este edificio también pretende obtener la certificación LEED<sup>1</sup>, porque su diseño está inspirado en la responsabilidad y el compromiso con el medio ambiente, es por esto que, la edificación aprovecha al máximo el agua lluvia y las aguas servidas, cuenta con un proyecto de compostaje con desperdicios orgánicos y posee paneles solares para su suministro.

---

<sup>1</sup> Leadership in Energy & Environmental Design (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental)

La certificación LEED es un complemento a la implementación de la industria 4.0 en la Ingeniería Civil, ya que, con esta metodología se busca reducir el consumo de recursos a la hora de fabricar y construir dando así una ventaja de rapidez y eficiencia en los proyectos. Para obtener esta certificación se debe garantizar seis criterios en las edificaciones: Eficiencia energética, sostenibilidad, recursos amigables con el medio ambiente, aprovechamiento y eficiencia del agua, originalidad en el diseño y ambiente interior de calidad. Los beneficios de contar con esta certificación es que se obtiene el reconocimiento de ser una estructura respetuosa con el medio ambiente y sostenible, y asimismo al propietario de la edificación le permite obtener una reducción en los costos operativos de la estructura.

En cuanto al diseño y construcción el Edificio de Ciencias de la Universidad EAFIT tiene un enfoque bioclimático, ya que, analiza y aprovecha las características del medio ambiente, es decir, los laboratorios, oficinas, cuartos técnicos, etc. se distribuyeron de acuerdo con las condiciones ambientales de la ciudad, por ejemplo, las oficinas se encuentran en la parte sur de la estructura lo cual ayuda a que el sol no les dé directamente y, por lo tanto, estas zonas no requieren de sistemas de aire acondicionado. Además, para reducir el impacto ambiental los materiales de construcción fueron fabricados o extraídos localmente para evitar el uso de transportes, se usó también materiales reciclados y se reutilizó la mayor cantidad de material que se podía para disminuir los residuos sólidos. Gracias a los paneles solares, a la iluminación LED<sup>2</sup>, a la ventilación natural, al diseño de la fachada y a la implementación de equipos de ventilación y bombas hidráulicas eficientes, el edificio diariamente alcanza a obtener un ahorro de energía de más del 15%, lo cual manifiesta las metas de ahorro energético que desea conseguir esta estructura. En cuanto al uso del agua, la edificación almacena más del 85% de la lluvia que cae sobre ella,

---

<sup>2</sup> Light Emitting Diode

esta agua es usada en los mantenimientos de los inodoros, lo cual permite obtener un ahorro de agua potable en cada descarga. Por último, esta estructura también cuenta con un parqueadero para bicicletas eléctricas lo que permite contar con un sistema de movilidad sostenible para todos los usuarios de este edificio. El Edificio de Ciencias de la Universidad EAFIT una clara muestra de los avances de la era 4.0 en Colombia.



*Figura 1. Edificio de Ciencias de la Universidad EAFIT. Fuente: (Universidad EAFIT, 2019)*

### **Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT)**

Conocido comúnmente como dron, es un tipo de tecnología que se ha estado implementado en la Ingeniería Civil en los últimos años y puede ser considerada como una de las manifestaciones de la era 4.0 en esta profesión. Su primordial beneficio es que nos da la disposición de realizar un seguimiento continuo a las obras lo que nos permite controlar cada fase del proyecto pertinentemente, es una herramienta que ha tomado valor en esta profesión porque nos ayuda a recopilar datos de las obras de construcción en cualquier momento y lugar.



Actualmente el dron se implementa en las etapas de operación, de construcción y de diseño del proyecto. En la etapa de diseño el dron se emplea para realizar levantamientos topográficos del terreno, con ayuda de la fotogrametría o de la tecnología LIDAR<sup>3</sup> se analiza e interpreta la información para obtener como resultado modelos digitales del terreno (MDT). Mediante la técnica de fotogrametría se obtiene una modelación en 3D de la superficie, la cual nos permite crear planos y realizar medidas, esta tecnología nos garantiza una gran precisión a la hora de realizar cálculos de volúmenes o áreas y de producir mapas. Para certificar esta precisión se necesita obtener las coordenadas de varios puntos en el terreno mediante un sistema de posicionamiento global (GPS) topográfico y así se realiza una adecuada georreferenciación en la modelación del terreno. Mediante la tecnología LIDAR se puede obtener una gran cuantía de datos con elevación, esto se da porque esta tecnología se basa en láseres, lo cual nos permite obtener nubes de puntos para reconstruir la superficie del terreno, esta tecnología también nos brinda la medida de distancia entre dos puntos y además otro plus esta tecnología es que cuenta con un sistema de GPS, lo cual nos permite conseguir una precisión en las coordenadas y en la altimetría de cada punto. En la etapa de construcción se implementan drones con cámaras termográficas y cámaras RGB para realizar un control y seguimiento a la estabilidad de taludes, con la cámara termográfica es posible observar las corrientes de agua que pueden llegar a desestabilizar un talud y con la cámara RGB es posible determinar las características y modificaciones del terreno a través del tiempo. Y en la etapa de operación con el uso de los drones se realiza una inspección a las estructuras y edificaciones, en esta etapa también se usan los drones con las mismas cámaras solo que en este caso con la cámara termográfica es posible obtener fotografías de temperatura de los materiales de la edificación, lo cual nos ayuda a saber cuál es el estado de funcionamiento y

---

<sup>3</sup> Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging

conservación de los elementos y con la cámara RGB es posible obtener fotografías de alta calidad de las estructuras.

Hoy en día existen dos opciones de drones para implementar en la Ingeniería, la primera opción es el dron multirrotor tiene las características de velocidad baja y vuelo estacionario, donde por medio de estas características nos brinda un mayor espectro de utilidad para ser usado en la fase operativa de los proyectos para inspeccionar las estructuras y la segunda opción es el dron ala fija tiene las características de trabajar en un espacio más amplio y no cuenta con vuelo estacionario, lo cual nos ofrece mayor eficiencia a la hora de cubrir una gran zona de terreno.

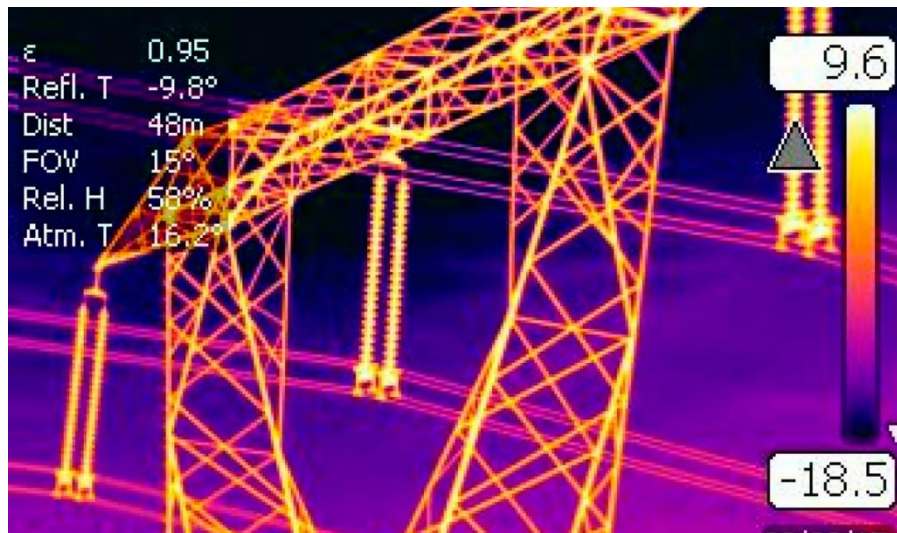


Figura 2. Termografía con drones. (CIMBRA, 2020)

### Fotografías a 360 grados

Los sistemas de fotografías a 360 grados son otro avance de la Industria 4.0 en las obras civiles. Esta herramienta permitirá incrementar la eficiencia a la hora de documentar los avances de las obras civiles. Un ejemplo de empresa que está llevando a cabo esta tecnología es HoloBuilder, el principal objetivo de la implementación de esta tecnología es simplificar la

obtención de fotografías de los avances en las construcciones; como beneficios tendríamos la reducción de visitas a las obras y las fotografías estarían disponibles en una plataforma para inversores, proyectistas y constructores. Para implementar esta tecnología solo es necesario de una persona, una cámara fotográfica a 360 grados y una aplicación o software, esta persona será la encargada de capturar las fotografías de cada ambiente de la edificación y posteriormente cargarla a la aplicación o software en el ambiente de la planta o piso correspondiente. Como resultado se obtiene un recorrido virtual de la edificación que puede ser observado desde el celular o computador, además a este registro fotográfico se le puede anexar PDF's, notas, indicar errores y obtener medidas aproximadas de los elementos directamente de las imágenes.

## **Conclusiones**

La Industria 4.0 aún se está desarrollando y es por esta razón que aún no se posee una vista general de todo lo que la compone, sin embargo, las industrias y las empresas están implementando estas nuevas tecnologías por los beneficios, los resultados, el valor y el potencial que está teniendo la era 4.0, asimismo son estas empresas e industrias las pioneras en mejorar y formar las habilidades de su personal para afrontar los nuevos compromisos laborales que la era 4.0 trae consigo. El desarrollo de la Industria 4.0 en el sector de la construcción le ha dado un valor agregado a este sector, porque, los sistemas y técnicas han pasado de ser analógicas a ser modernas, tecnológicas y digitales, contribuyendo así que los equipos de construcción generen menos residuos y sean óptimos.

Hoy en día, obtener y aplicar conocimientos en software BIM es muy importante, ya que, estas herramientas digitales tienen actualmente mucha relevancia en las fases de diseño y planeación de las obras de construcción. Al implementar estos sistemas digitales interdisciplinarios en los proyectos, han demostrado que se reduce los gastos de mantenimiento de la estructura, los

riesgos generales del proyecto y aumenta la calidad final de las edificaciones. Además, la implementación de los drones y las cámaras a 360 grados permiten que los proyectos optimicen los tiempos de entrega y se realice con más frecuencia los controles y seguimientos pertinentes a las obras civiles. Cabe resaltar que la Industria 4.0 también está relacionada con la construcción sostenible, las dos quieren desarrollar sus actividades con menos recursos y producción de residuos.

En el sector de la construcción el enfrentar la evolución digital es una obligación para sobresalir y mantenerse, ya que, gracias a esta Cuarta Revolución Industrial la ingeniería ha realizado observaciones y mediciones económicas, precisas, sistemáticas y rápidas.

## **Bibliografía**

CanBIM. (2019). *Construction 4.0 La prochaine révolution dans l'industrie de la construction*.

CanBIM. <https://www.canbim.com/articles/construction-4-0-fr>

CIMBRA. (2020, febrero 17). *Drones: Aplicaciones a la ingeniería civil (y II)*.

<https://ingenieros-civiles.es/actualidad/actualidad/1/605/drones-aplicaciones-a-la-ingenieria-civil-y-ii->

Herranz, A. (2021, mayo 26). *Digital twins: Qué son, para qué sirven y cuáles son los beneficios y problemas de los gemelos digitales*. Xataka. <https://www.xataka.com/pro/digital-twins-que-sirven-cuales-beneficios-problemas-gemelos-digitales>

i-SCOOP. (2019). *Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained*. i-SCOOP.

<https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>

Marr, B. (2020). *What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone*. Forbes.

<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/>

Universidad EAFIT. (2019). *Edificio de Ciencias—Universidad EAFIT*. Universidad EAFIT.

<https://www.eafit.edu.co/edificiodeciencias>