

**APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA PLANEACIÓN Y CONTROL DE  
PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL**



**ALEJANDRA CAMARGO LANCHEROS**

Trabajo presentado como requisito para optar al título de:

**INGENIERO CIVIL**

Curso internacional Special Topics in Information Technology  
University of Ontario Institute of Technology, Oshawa, Ontario, Canadá.

Tutor:

Ing. Luz Yolanda Morales Martín. PhD

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C., 2019**

# **Aplicación de la realidad virtual en la planeación y control de proyectos de ingeniería civil\***

**Alejandra Camargo Lancheros\*\***

## **Introducción**

El auge tecnológico que se ha venido presentando en los últimos años ha cambiado la forma de ver el mundo y de interactuar con este. Anteriormente, los procesos en cualquier industria eran más rústicos, tomaban más tiempo y podían tener errores por falta de experticia; ahora, se tiene la ventaja de que la mayoría de las técnicas están optimizadas para prevenir el desperdicio de recursos tanto económicos como de materiales, entre otros. Sin embargo, aún queda mucho por mejorar y por consiguiente siguen emergiendo nuevas tecnologías innovadoras. Un ejemplo de ello es la realidad virtual y los dispositivos o equipos que han surgido para mostrar ese mundo digitalizado que se ha convertido en una herramienta práctica en múltiples escenarios, fomentando la búsqueda de nuevos mecanismos que permitan brindar mejores experiencias a los usuarios en ese entorno computarizado.

En sus inicios, la aplicación de la realidad virtual estaba dirigida hacia el campo de los videojuegos y el entretenimiento; sin embargo, paralelamente se inicia el uso de aplicaciones en diversos campos como la educación, las ramas de la ingeniería, la medicina, la administración, la economía, entre otros. Este trabajo se enfoca a presentar una visión del uso de la realidad virtual en la ingeniería civil. En este ámbito se están implementando herramientas que benefician las etapas de un proyecto de construcción, como por ejemplo, los programas computacionales que contribuyen en la etapa de planeación y diseño. Planear estratégicamente un proyecto puede ser determinante para que se lleve a cabo de manera eficaz y eficiente, por consiguiente, se han desarrollado plataformas como Building Information Modeling (BIM) para optimizar recursos a medida que se trabaja de manera colaborativa.

Para finalizar el documento, se presenta un ejemplo de aplicación de realidad mixta combinada con tecnología BIM para supervisar la construcción de un proyecto de ingeniería. En el trabajo realizado por Raimbaud et al. (2019), se muestra el uso de la realidad mixta junto con información

---

\* Artículo presentado como trabajo de grado del curso internacional Special Topics in Information Technology, University of Ontario Institute of Technology, Oshawa, Ontario, Canadá.

\*\* Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, 2019.

desarrollada en BIM y videos recopilados por drones para facilitar el monitoreo de una obra. Si se quieren verificar los avances de la obra, es necesario visitar el sitio de trabajo y posteriormente realizar modificaciones en el modelo BIM cuando se requiera; la propuesta del artículo es la supervisión del proyecto estando fuera de la obra mediante la superposición del modelo planeado en BIM y lo que se ha construido hasta el momento, facilitando la corrección del modelo cuando sea necesario.

### **Historia de la realidad virtual y la realidad aumentada**

Antes de mencionar algunos datos de la historia de la realidad virtual, aumentada y mixta, es importante dar la definición de cada término. La realidad virtual es un entorno digital que se encuentra en tres dimensiones el cual puede ser explorado por una persona y ésta puede generar una interacción (Ojanguren, 2016). Inicialmente ese entorno se inclinaba más hacia la ficción y se generaba mediante fotografías y películas, basándose en el concepto del estereoscopio, donde se puede obtener una vista en tres dimensiones al observar dos imágenes, una con cada ojo, y dichas imágenes deben estar en 2D (Mouyal, 2018). Por otro lado, la realidad aumentada es la inclusión de información digital a un objeto o ambiente existente y real, dando como resultado una realidad mixta que presenta la interacción de elementos reales y elementos digitales (Ojanguren, 2016).

Al hablar de la historia de lo que se conoce hoy en día como realidad virtual, es necesario aclarar que el término aparece a mediados de la década de 1980 mientras que el concepto ya existía como se observa en el cuento de ficción publicado en 1935 denominado “Las gafas de Pigmalión”, donde la trama se desarrolla de acuerdo al lector de manera interactiva y trata de unas gafas con las cuales se puede experimentar un mundo que se puede ver, oír, oler y tocar; la historia busca hacer al lector el protagonista de esta. Al finalizar la década de 1950, el director de fotografía Morton Heilig desarrolló el “Sensorama”, que buscaba sumergir completamente al espectador en una película corta multisensorial mediante un dispositivo mecánico que se parecía a un juego de arcade, el cual proporcionó al espectador imágenes en movimiento, en 3D, olores, vibraciones y sensaciones táctiles como el viento (Dormehl, 2017).

Una de las obras determinantes para la definición de la realidad virtual es el ensayo escrito por el profesor Ivan Sutherland en 1965 “The Ultimate Display” en el cual se describe una pantalla que se encuentra conectada a un computador para la creación de un entorno virtual que genera retroalimentación auditiva y táctil al interactuar con los objetos. De esta obra surgen más conceptos

como las interfaces gestuales, el seguimiento ocular, la retroalimentación háptica (término utilizado para referirse a todas aquellas sensaciones que incluyen contacto pero que no son ni visuales ni auditivas) Rojas (2013), la realidad aumentada y el reconocimiento de voz. En 1968, Sutherland con ayuda de su alumno Bob Sproull, desarrollaron la "Espada de Damocles", que ahora se considera el primer sistema Head-mounted display (HMD) o su traducción al español: visor de realidad virtual. Si bien la interfaz de usuario y las imágenes eran primitivas, el sistema mostraba la salida de un programa de computadora y podía rastrear la posición de los ojos y la cabeza del usuario (Mouyal, 2018).

Por otro lado, en la industria militar también se han realizado múltiples investigaciones y proyectos de los que se destacan los primeros simuladores de vuelo comerciales que fueron desarrollados por Edward Link en 1929, los cuales fueron usados por el ejército estadounidense para el entrenamiento de sus pilotos durante la Segunda Guerra mundial. Para el entrenamiento de soldados en situaciones peligrosas apareció el dispositivo "Headsight" que fue creado por Charles Comeau y James Bryan en 1961 y consistía en una cámara ligada al movimiento de la cabeza del usuario. Desde 1960, Thomas Furness inició su investigación en seguimiento del movimiento, el sonido en 3D y el uso del habla y los gestos como fuentes de entrada del usuario, para posteriormente diseñar un casco para pilotos militares que proyectaba información en un espacio inmersivo y en 3D que los pilotos podían ver y escuchar en tiempo real. Para aumentar aún más el entorno sensorial para los pilotos, Louis Rosenberg desarrolló la plataforma de dispositivos virtuales en 1992 que proporciona una realidad inmersiva en 3D (Dormehl, 2019).

Otras obras que se destacan por tener componentes de realidad virtual son *Welt am Draht* (1973), *Tron* (1982), *The Lawnmower Man* (1992) y *The Matrix* (1999). Al finalizar la década de 1990, aparecen la exploración en 3D, entorno 360°, simulación de experiencias y los mundos virtuales. La llegada de los teléfonos inteligentes fue indispensable para que la experiencia de realidad virtual se estableciera como tecnología emergente gracias a la aparición de mejores gráficos en los computadores, sensores de movimiento y gestos, entre otras interfaces (Mouyal, 2018).

Los avances e investigaciones que se ejecutan en la actualidad están enfocados hacia la búsqueda de un entorno inmersivo. En este contexto, la palabra *immersivo/a* se emplea para indicar que una tecnología busca recrear el mundo real a través de herramientas digitales y requiere el

desarrollo de una realidad mixta en donde se involucren los sentidos del usuario para generar sensaciones reales en este. La tecnología inmersiva se basa en la percepción del usuario, la interacción entre el usuario y el componente virtual, y un sistema informático que se encarga de formar el entorno virtual, procesa la interacción del usuario y brinda una respuesta en tiempo real para darle retroalimentación al consumidor de la interfaz. El componente virtual anteriormente mencionado puede hacer parte de la realidad virtual, la realidad mixta y/o la realidad aumentada. Partiendo de lo anterior, un entorno inmersivo busca que el usuario que está en interacción con el entorno, enfoque toda su atención en este para mejorar su interacción y a su vez pueda entenderlo.

La evolución de la tecnología hace parte de las diferentes revoluciones industriales que se han presentado a lo largo de la historia. Hablar de la Primera Revolución Industrial es hacer referencia al cambio económico y social que vive la sociedad del Siglo XVIII cuando deja de tener como modelo económico uno basado en la agricultura y labores del campo e implementa procesos industriales con la llegada de la máquina de vapor. En cuanto a la Segunda Revolución Industrial (Siglo XIX), se destacan las herramientas que ayudaron a lograr la producción en masa, mientras que en la Tercera Revolución Industrial (Siglo XX) se integró la tecnología en los procesos operativos, automatizándolos a través de aparatos electrónicos. Sin embargo, el fenómeno que está revolucionando las industrias en este siglo XXI, es la Cuarta Revolución Industrial que viene acompañada de la tecnología cibernética en donde se puede acceder a los datos desde cualquier lugar gracias al almacenamiento en la nube (Marr, 2018). Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, las tecnologías emergentes están en la búsqueda de facilitar los procesos para todas las actividades tanto cotidianas como laborales, para llevar la calidad de vida de las personas a un nivel superior.

### **Aplicaciones actuales de realidad virtual y los avances en la Ingeniería Civil**

Las aplicaciones de la realidad virtual y realidad aumentada ahora están floreciendo más allá de las industrias de juegos o entretenimiento en el hogar. Desde la educación y la capacitación hasta la manufactura y la atención médica, estas aplicaciones son cada vez más frecuentes.

En educación, los estudiantes pueden interactuar con objetos dentro de un entorno 3D. Los estudiantes de medicina pueden recibir capacitación mientras ven cirugías 3D en vivo desde cualquier parte del mundo. Los visitantes pueden caminar virtualmente a través de sitios patrimoniales o, en el caso del Museo Kremer, visitar una colección virtual del museo. Los

socorristas de primeros auxilios están inmersos en escenarios de desastres aparentemente reales mientras los mineros aprenden a reconocer los riesgos mientras caminan por minas virtuales (Teseo, 2017).

En el cuidado de la salud, las aplicaciones de realidad virtual proporcionan terapia a niños con autismo y ayudan a tratar el trastorno de estrés postraumático. Los cirujanos usan herramientas visuales en preparación para una operación. Las aplicaciones permiten a los médicos percibir las experiencias de un paciente con discapacidad auditiva y visual (Pardos, s.f.).

Los fabricantes se benefician de las aplicaciones virtuales. Las herramientas interactivas de modelado 3D utilizadas por los fabricantes de automóviles y ferrocarriles permiten a los diseñadores ver y probar sus productos antes de que comience la producción. Los HMD proporcionan a los empleados fuentes de datos adicionales que son útiles para la gestión del inventario o la navegación del almacén (Mouyal, 2018).

En el campo de la ingeniería civil, por ejemplo, algunos equipos de construcción pueden recopilar datos para visualizar condiciones en tiempo real y hacer ajustes según sea necesario. Como lo menciona Agarwal (2016), todo el proceso de construcción es dinámico y consta de muchos procesos paralelos que se pueden ver afectados por problemas que aparecen dentro de la secuencia de construcción, que no se pueden anticipar durante la fase de planificación. Por ejemplo, si algún equipo y/o máquina no se encuentran en óptimas condiciones para llevar a cabo su labor puede ser causal de retraso en la obra. Para abordar el problema anteriormente mencionado ya existe maquinaria y equipo de construcción que agilizan procesos y disminuyen errores humanos como por ejemplo DokaXact, el sistema de posicionamiento de encofrado para la construcción de núcleos de gran altura que consta de sensores que se instalan en puntos específicos del encofrado. Lo innovador de este sistema es que se puede utilizar mediante un dispositivo móvil como el celular del operario a través de una aplicación que se basa en los módulos que ya se encuentran ubicados para así asegurar precisión a las nuevas secciones que se van adhiriendo; además de esto, se recibe información en tiempo real de manera inalámbrica proveniente de los sensores con el fin de poder controlar y monitorear el proceso constructivo sin la necesidad de estar presente en la ejecución de la obra. En la Figura 1a, 1b, 1c y 1d se muestra respectivamente el sensor fijado en el módulo, la conexión entre sensores, la aplicación en el teléfono móvil y la visualización del sistema en una unidad central de procesamiento.

Actualmente, los ingenieros en el campo confían en dibujos a escala en todos los proyectos que se utilizan para todos los fines prácticos; y es aquí donde el error humano tiende a propagarse en la ejecución. incluso si hay una ligera diferencia en la medición y su aplicación posterior, tiende a multiplicarse a medida que avanza el proyecto y, en ocasiones, puede causar problemas en etapas posteriores. Con el concepto de realidad aumentada, el ingeniero puede revisar la estructura a medida que avanza la obra proyectando el modelo en campo; esto ayudará en la identificación de fallas, errores y la rectificación de los mismos a tiempo.

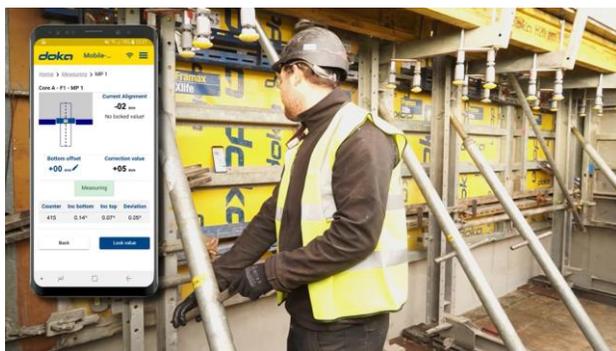
Por otro parte, la proyección de la obra puede ser muy útil para el cliente cuando este último no comprenda los aspectos técnicos del proyecto. Con el uso de realidad aumentada, el cliente puede realizar un recorrido virtual del proyecto antes de que se construya, de modo que, si se requieren cambios, se puedan incorporar antes de que el trabajo del proyecto haya comenzado (Agarwal, 2016).



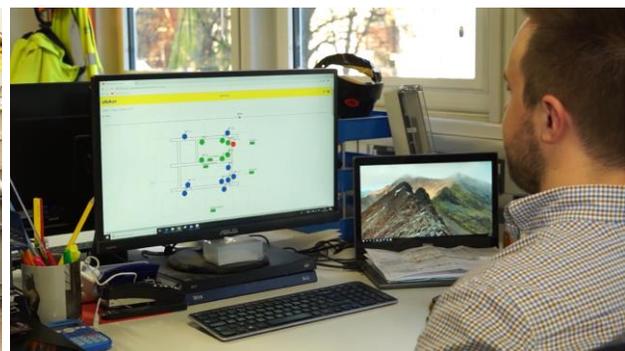
a. Sensor fijado en el módulo.



b. Conexión entre sensores.



c. Aplicación para utilizar el sistema.



d. Visualización del sistema en el computador.

**Figura 1. Sistema DokaXact. Fuente: Doka (2019).**

## **Innovación y tecnología en el sector de la construcción**

El desarrollo de un país se puede establecer al observar la calidad de su infraestructura ya sea de transporte, hidráulica, energética, de telecomunicaciones, edificaciones, entre otras; lo que también puede determinar la calidad de vida que ofrece a sus habitantes y su competitividad frente a otros países; es por eso que con el tiempo se ha buscado que las construcciones se desarrollen de manera eficaz y eficiente para garantizar que dichas obras sean de gran utilidad para la comunidad a través de los años.

En Colombia, además del reto que genera la necesidad de estar innovando constantemente para ofrecer buenos servicios a la ciudadanía en todos los aspectos, se destaca el desafío que tiene la ingeniería civil para el desarrollo de sus proyectos debido a la geografía accidentada que tiene el país, haciendo difícil la llegada de infraestructura adecuada a diversas zonas de la región y, por ende, disminuyendo la calidad de vida de poblaciones. Es por lo anterior que los distintos proyectos en los sectores de vivienda, acueducto y alcantarillado, vías, entre otros, requieren de una óptima planeación para reducir las dificultades que se pueden presentar en su construcción y las actuales tecnologías emergentes junto con la realidad virtual ofrecen un apoyo fundamental en los procesos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de dichos proyectos.

Como ya se mencionó, la planeación detallada de un proyecto puede ser la clave para que al momento de construir no se cometan errores en la secuencia del proceso constructivo ni se sobreestime la disposición espacial, cumpliendo el objetivo de disminuir los desperdicios tanto en materiales como en tiempo que se presentan a la hora de construir (Kong, 2012). Por lo anterior, surgen tecnologías que buscan ayudar y respaldar los proyectos de ingeniería como el diseño asistido por computador (CAD, por sus siglas en inglés) cuya función es implementar un proceso computarizado para sustituir el dibujo manual. Cuando los planos se realizaban manualmente, cada uno de los profesionales que conforman el equipo de trabajo de un proyecto se encargaba de hacer su trabajo y cumplir con lo requerido de acuerdo a su especialidad; no había forma de verificar que no hubiese intersección entre elementos (por ejemplo, entre las redes hidrosanitarias y las redes eléctricas o que una red atravesara un elemento estructural) sino que esos errores salían a la luz ya cuando se estaba construyendo, generando demoras y desperdicios, entre otras afectaciones.

Aunque la llegada del CAD demostraba ser un gran avance para la ingeniería, con el diseño automatizado no se puede generar un trabajo en conjunto en donde todos los especialistas puedan

trabajar bajo un mismo modelo, por lo que se siguen presentando errores en obra que difícilmente podrían ser identificados en los planos. Sin embargo, el modelado en tercera dimensión muestra la mejora del diseño de los proyectos puesto que se tiene la posibilidad de crear modelos más realistas mediante el uso de superficies y sólidos.

La tecnología que está revolucionando el diseño de edificaciones e infraestructuras de todo tipo en el mundo es el concepto BIM que se basa en la modelación de la información para la construcción donde se gestionan todos los componentes del proyecto a lo largo de su vida útil y se obtiene una maqueta digital. La principal ventaja que ofrece esta metodología es que permite el trabajo colaborativo entre todos los involucrados en el proyecto no solo a nivel profesional, sino que también se incluye a los usuarios de la construcción a realizar. En la actualidad, gracias al sistema BIM se está dejando de hablar de modelos tridimensionales para empezar a hablar de modelos en 7D, los cuales integran múltiples factores como el costo del proyecto, el tiempo que se requiere para llevarlo a cabo, el componente ambiental del proyecto y finalmente un manual de instrucciones para garantizar la vida útil de la estructura (Sánchez, 2016). Todo esto confirma que lo que se busca con las herramientas digitales es la simulación del proceso de construcción real para identificar los posibles inconvenientes que se pueden presentar cuando se está ejecutando la obra, para así optimizar todos los recursos y mejorar el rendimiento de la construcción.

Así como las herramientas computacionales ya mencionadas son útiles para las personas cuya profesión se encuentra vinculada con la ingeniería civil y el sector de la construcción, ya existen programas y plataformas que, al unir dichas herramientas con elementos de realidad virtual, aumentada y/o mixta, buscan darle una experiencia inmersiva al usuario que es quien va a hacer uso de las construcciones o edificaciones, para que puedan experimentar la simulación de la obra aún sin estar construida. Para poder mostrar o vender un proyecto, los ingenieros y/o arquitectos hacen uso de maquetas y modelos a escala para demostrar la idea antes de ponerla en marcha; con estas herramientas se digitaliza el proyecto obteniendo un modelo virtual que desarrolla una experiencia sensorial al permitir que el cliente y/o inversor pueda percibir con sus sentidos la idea del proyecto sin haberla construido en realidad: por ejemplo, tener la sensación de recorrer la edificación y visualizar los materiales con los que se va a construir, entre otras experiencias que se pueden obtener al usar dispositivos de realidad virtual.

No obstante, el éxito de un proyecto no se garantiza únicamente al elegir una herramienta tecnológica adecuada, puesto que requiere de gestión, dirección y planeación conformes al objetivo que se busca cumplir. Para esto, el proyecto debe contar con un gerente que tenga habilidades de líder, habilidades comunicativas, de negociación y de resolución de problemas. El gerente debe cerciorarse que se lleven a cabo todas las actividades necesarias para cumplir con el ciclo de vida del proyecto y es así como surge la guía PMBOK que busca orientar los procesos requeridos para la ejecución de cualquier proyecto.

PMBOK es el acrónimo de "Project Management Body of Knowledge" y es una guía que busca estandarizar las áreas de conocimiento y los procesos de gestión de proyectos; se considera un manual de buenas prácticas que contiene los procesos necesarios para llevar a cabo una óptima dirección de un proyecto. Dicho manual se basa en cinco etapas para abarcar el ciclo de vida del proyecto: inicio, planificación, ejecución, control y seguimiento y por último el cierre, como se muestra en la Figura 2. El inicio del proyecto implica la definición del proyecto, obtener las autorizaciones adecuadas y obtener los recursos necesarios para su ejecución. La planificación del proyecto consiste en establecer objetivos y plantear estrategias para programar y presupuestar el proyecto, teniendo en cuenta los riesgos que se pueden presentar. La ejecución del proyecto hace referencia al adecuado cumplimiento de todas las actividades necesarias para terminarlo. El proyecto debe ser monitoreado y controlado cuidadosamente para asegurar su finalización exitosa. Cuando todos los entregables se hayan producido, el proyecto debe cerrarse y se debe hacer un informe del proceso realizado.



**Figura 2. Etapas del ciclo de vida en un proyecto. Fuente: Elaboración propia.**

Además de las cinco etapas anteriormente mencionadas, Project Management Institute, Inc (2016) da a conocer en su guía que esta herramienta maneja diez áreas de conocimiento para asegurar que el proyecto se ejecute de manera óptima, las cuales son: a) *integración* que busca evitar las discrepancias que puedan darse entre las disciplinas que forman parte del proyecto, b) *alcance* el cual depende de los objetivos que se quieran cumplir y las especificaciones que se deban seguir, c) *tiempo* que es uno de los limitantes que tiene todo proyecto por lo que se requiere de

cronogramas y bitácoras para garantizar los plazos establecidos inicialmente, *d) costos* que dependen del tamaño del proyecto y pueden afectar la rentabilidad de la organización, *e) calidad* para satisfacer las necesidades del dueño considerando los requerimientos que se fijaron en el contrato, *f) recursos* que pueden ser humanos, maquinaria, equipos, herramientas, y/o materiales, *g) comunicaciones* donde se contemplan los diferentes niveles y canales de comunicación en un ambiente de construcción para la distribución de la información, *h) riesgos* que tiene en cuenta la ocurrencia de eventos positivos y negativos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, *i) adquisiciones* que se hacen adicionales del equipo del proyecto como productos o servicios y por último, *j) accionistas e interesados* donde la guía muestra los posibles clientes que pueden tener los proyectos de construcción.

Dadas las complejas características de los proyectos de construcción en ingeniería, el PMBOK establece una extensión para dichos proyectos, la cual contempla otras dos áreas de conocimiento que son: *k) salud, seguridad, protección y medio ambiente* que, aunque aplique para todo tipo de industria, requiere medidas especiales en la construcción para dar su cumplimiento y *l) financiación* en la que se consideran aspectos como documentos, técnicas y herramientas para mejorar la comprensión de las decisiones que se toman en el ámbito financiero.

En la Tabla 1 se observa la relación de cada área de conocimiento de la Guía de Extensión acuerdo a los procesos que delimitan el ciclo de vida del proyecto y así se define en qué etapa se puede empezar a trabajar en un área determinada. También se destaca que en los procesos de planificación y monitoreo es donde participan las doce áreas de conocimiento, por consiguiente, son etapas que requieren mayor control para evitar irregularidades durante la vida útil del proyecto.

Tabla 1. Mapa de grupos de procesos y áreas de conocimiento.

Áreas de conocimiento	Grupos de procesos				
	Inicio	Planificación	Ejecución	Monitoreo y control	Cierre
1. Integración	■	■	■	■	■
2. Alcance		■		■	
3. Tiempo		■		■	
4. Costos		■		■	
5. Calidad		■	■	■	
6. Recursos		■	■	○	○
7. Comunicaciones		■	■	■	
8. Riesgos		■		■	
9. Adquisiciones		■	■	■	
10. Accionistas e interesados	■	■	■	■	■
11. Salud, seguridad, protección y medio ambiente		○	○	○	
12. Financiación		○		○	

■ Áreas de conocimiento y grupos de procesos incluidos en la extensión de Construcción del PMBOK

○ Áreas de conocimiento específicas para construcción y grupos de procesos únicos para la extensión de construcción

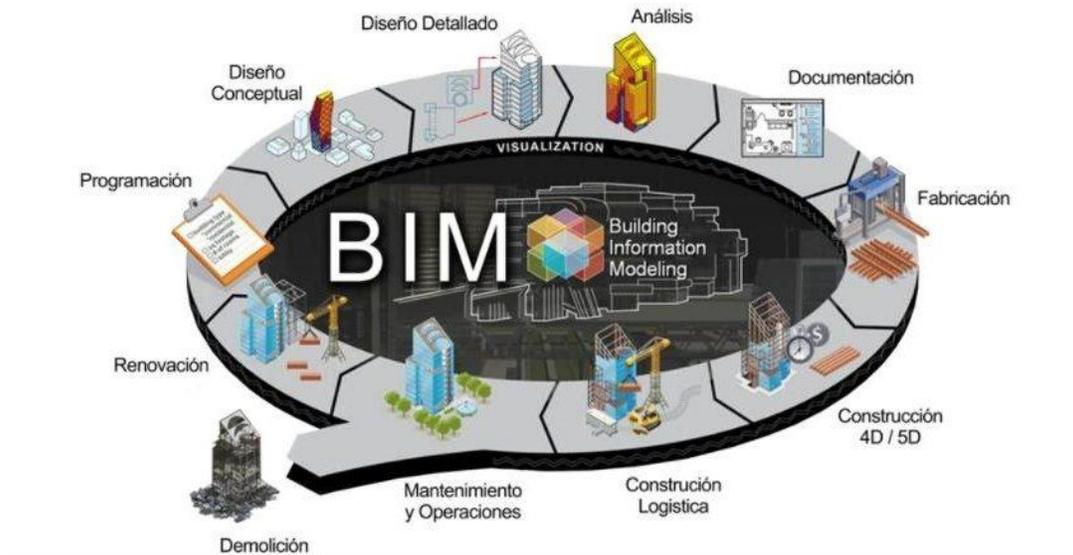
Fuente: Project Management Institute, Inc. (2016).

### Transición de CAD a BIM y su influencia en el sector de la construcción

Para abarcar la transición tecnológica que se ha venido presentando en los últimos años, se definirá cada tecnología para poder llevar a cabo una comparación entre las dos y definir el impacto que se ha generado en la ingeniería civil. Cuando se habla de CAD, se habla de la técnica de dibujo que emplea un computador y una interfaz gráfica para realizar planos. Esta tecnología hace uso de puntos, líneas, arcos, círculos y polígonos para desarrollar un dibujo en 2D y superficies y sólidos para el desarrollo de un modelo en 3D (Autodesk, s.f.). Por otra parte, BIM es aquella herramienta que permite la optimización de recursos gracias al trabajo colaborativo entre diseñadores y constructores en un solo modelo en 3D que ayuda a mejorar la calidad de los proyectos al incluir información relevante como el costo del proyecto (Lorenzo, 2017).

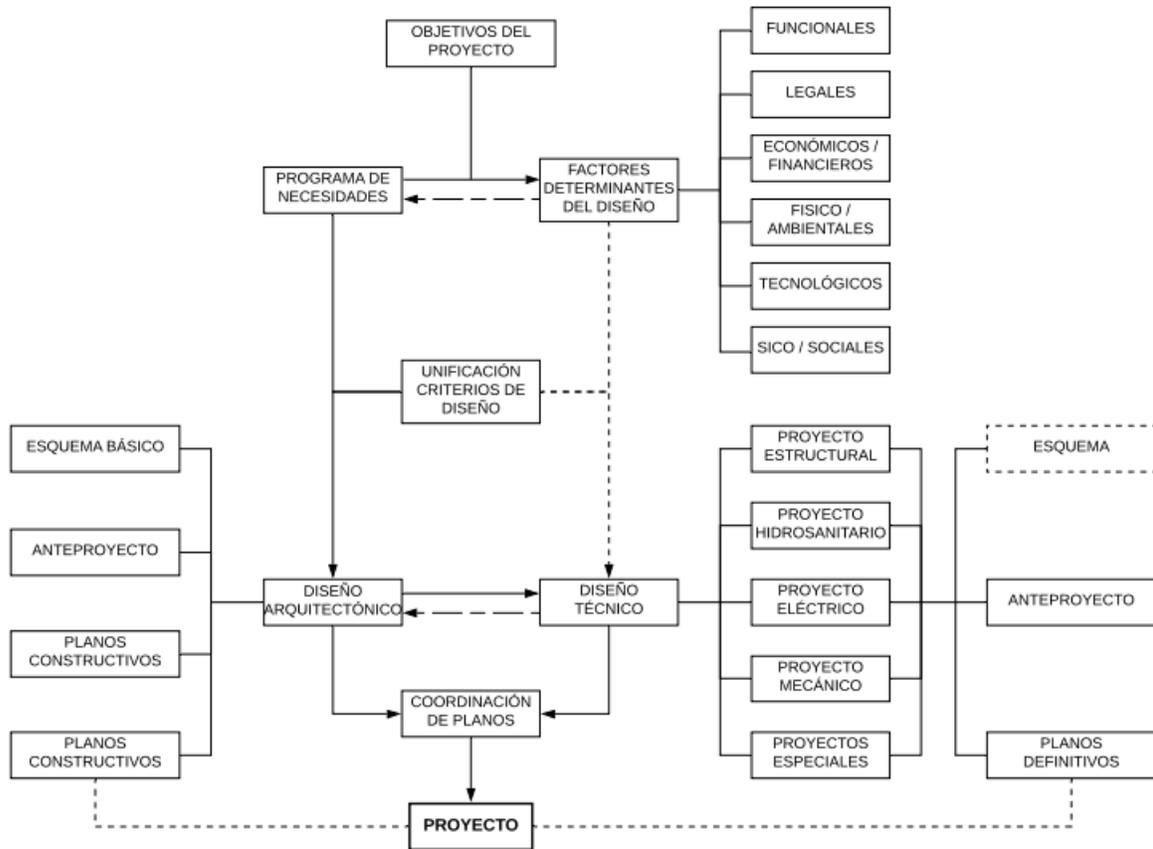
En la Figura 3 se observa que el ciclo de las etapas de un proyecto de construcción se puede efectuar mediante el sistema BIM, donde el ciclo inicia con una idea de la cual surge un diseño conceptual para posteriormente desarrollar un diseño detallado, se analiza el diseño, se genera la documentación necesaria para llevar a cabo la materialización del proyecto mediante la

construcción en distintas dimensiones y para certificar que el proyecto va a durar lo mismo que el periodo de diseño, se presentan las medidas de mantenimiento y operaciones, terminando el ciclo en la demolición de la edificación. A continuación, se mencionarán algunas de las ventajas del sistema BIM y la evolución que se evidencia sobre el ambiente que genera CAD.



**Figura 3. Etapas de un proyecto de construcción en el sistema BIM. Fuente: BIM en Colombia. Sitio web: <https://www.iac.com.co/wp-content/uploads/2015/04/BIM-en-Colombia-e1430407019344-848x445.jpg>**

La planificación de un proyecto de construcción se ha considerado como un proceso crítico en las primeras fases del proyecto que determina la implementación y entrega exitosa del mismo. Durante esta etapa, se deben desarrollar estrategias de construcción y secuencias de ensamblaje, así como organizar los métodos de construcción. Generalmente, la documentación se prepara en formato bidimensional que consta de planos, elevaciones, detalles y especificaciones (Kong, 2012). Dada la importancia de la planeación de un proyecto de construcción, se presentan como ejemplo en la Figura 4 los componentes que hacen parte de la planificación de un edificio donde se incluyen conceptos tanto técnicos como arquitectónicos para la coordinación de planos, de lo cual se hablará más adelante (Puyana, 1995). Esta planificación tiene en cuenta factores determinantes en el diseño como lo son los componentes legales, económicos, financieros, tecnológicos y sociales. Por otro lado, también involucra los planos constructivos, así como los definitivos para alcanzar los objetivos del proyecto que en este caso es un edificio.



**Figura 4. Planificación de un edificio. Fuente: Puyana (1995).**

Una de las ventajas del sistema BIM es que ya no se crean elementos aislados basados en objetos geométricos como se realizaba en las plataformas de CAD, sino que ya se entiende cada componente de la estructura como un objeto que tiene propiedades y hace parte de una secuencia constructiva, donde se incluyen las características dimensionales del elemento, su costo, el tiempo que requiere para su construcción y así es más sencillo calcular las cantidades de obra y volúmenes de material, lo que reduce el desperdicio y aumenta la precisión en cuanto a mediciones (Structuralia, 2017). Se logra colaboración y un trabajo coordinado entre ingenieros, arquitectos, contratistas y todos aquellos que estén involucrados en la construcción al manejar un solo registro del diseño del proyecto donde se pueden identificar conflictos entre algunas de las partes del proyecto. Para ello, se gestiona la información de manera eficiente en el programa gracias a que dentro del modelo se operan bases de datos facilitando el manejo de la documentación, por lo que no es necesario manejar archivos independientes o separados para evitar tener un único archivo pesado difícil de compartir, como sucedía con los programas de CAD. Otro aspecto que cabe

resaltar es la interoperabilidad entre programas BIM que facilita el flujo de archivos de un programa a otro con ayuda de herramientas informáticas, esto con el fin de poder utilizar diferentes plataformas sin perder datos (Lorenzo, 2017).

Para ejemplificar el trabajo coordinado que se obtiene al hacer uso de programas con tecnología BIM se presenta la Figura 5, la cual muestra los componentes de cada uno de los planos (arquitectónicos, estructurales, eléctricos, hidráulicos, sanitarios y electromecánicos) y cómo se relacionan entre si puesto que los detalles que requieren los planos hidráulicos, pueden aparecer también en los planos estructurales, lo cual requiere de coordinación entre el ingeniero estructural y el ingeniero encargado de la parte hidráulica para evitar confusiones.

Otra de las ventajas de este sistema es la integración que se puede llevar a cabo con otras tecnologías emergentes como los dispositivos o plataformas que involucran realidad virtual, las impresoras en 3D, los sistemas de georreferenciación (imágenes terrestres, herramientas de cartografía, equipos y programas), entre otros; que le brindan al proyecto más realidad y más detalles con los cuales mejorar y optimizar su ejecución. Esta integración se puede dar en distintas fases del proyecto, teniendo en cuenta la utilidad de la tecnología a utilizar (Structuralia, 2017).

Desde otro punto de vista, el ciclo de vida de un proyecto se integra mediante la aplicación del BIM, puesto que se le puede hacer seguimiento a lo largo de toda la vida útil del proyecto (inicio, planificación, ejecución, control, seguimiento y cierre), aspecto que anteriormente no se podía coordinar fácilmente mediante otros programas. Se deja de pensar únicamente en el diseño del proyecto y se enfoca la visión también en la construcción y en el mantenimiento del mismo (Structuralia, 2019).

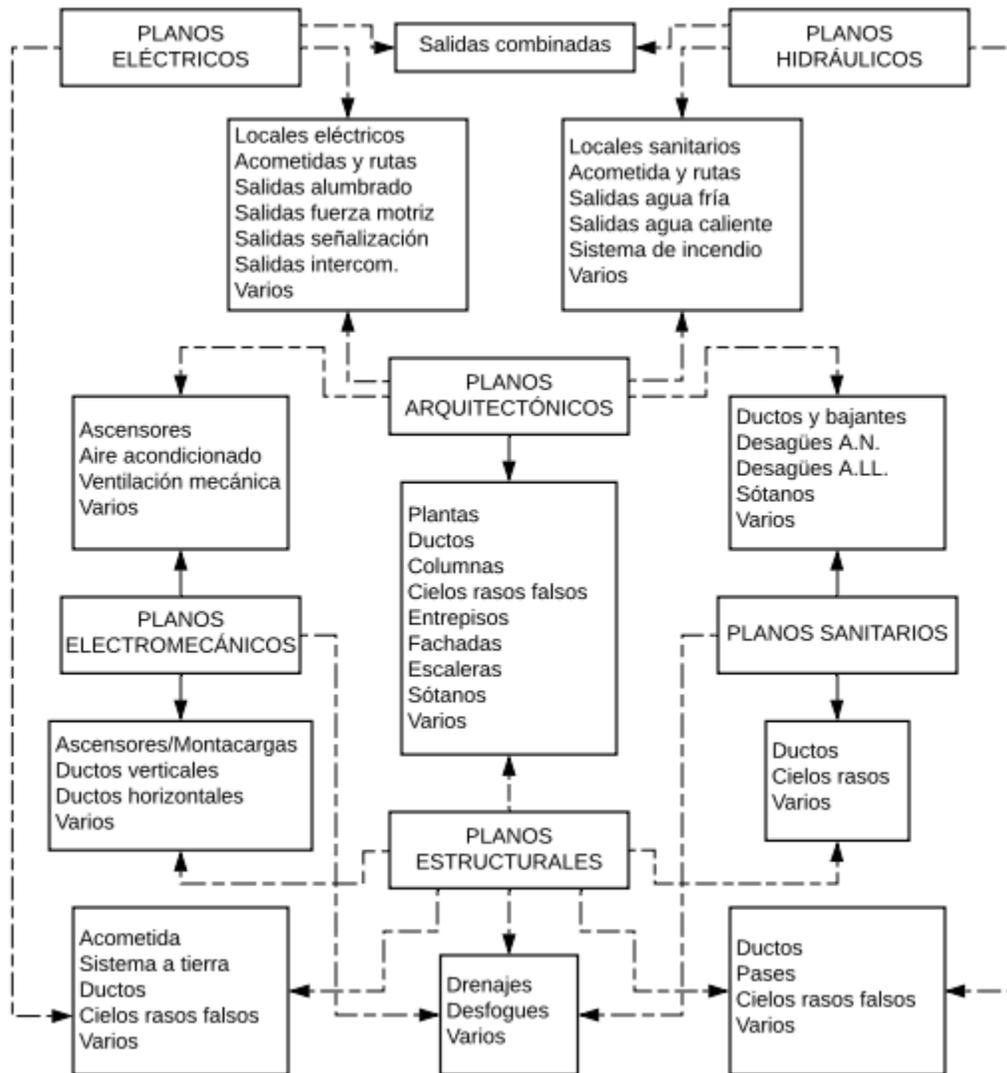


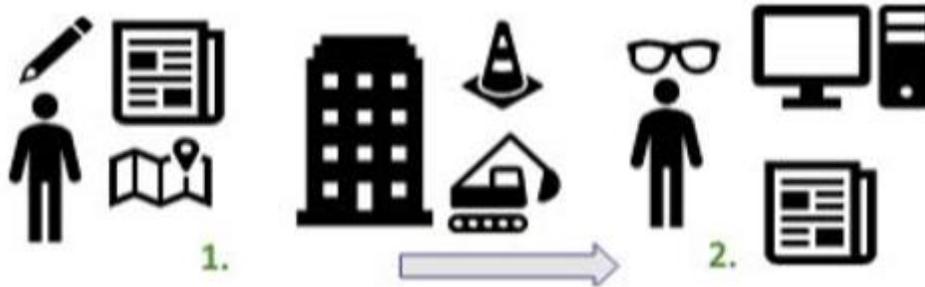
Figura 5. Coordinación de planos constructivos. Fuente: Puyana (1995).

### Aplicación de realidad mixta basada en BIM para el monitoreo y control de una construcción

En el artículo de Raimbaud et al. (2019), se presenta una propuesta del uso de herramientas de realidad mixta para realizar la supervisión de un edificio en construcción, uniendo esas herramientas con la tecnología BIM para trabajar según lo planeado inicialmente en los diseños y lo que se construye actualmente en la obra.

Primero, se describe cómo se monitorea una obra hoy en día y cómo se podría monitorear si se implanta la propuesta de la realidad mixta. La metodología actual para el control de la obra consiste en ir al sitio donde se está ejecutando la obra y escribir anotaciones acerca de defectos o errores en la construcción o las diferencias con los planos del modelo BIM. Luego, se regresa a la oficina,

se leen las anotaciones tomadas en campo, se ubican los elementos que requieren corrección y se corrigen en el modelo (ver Figura 6).



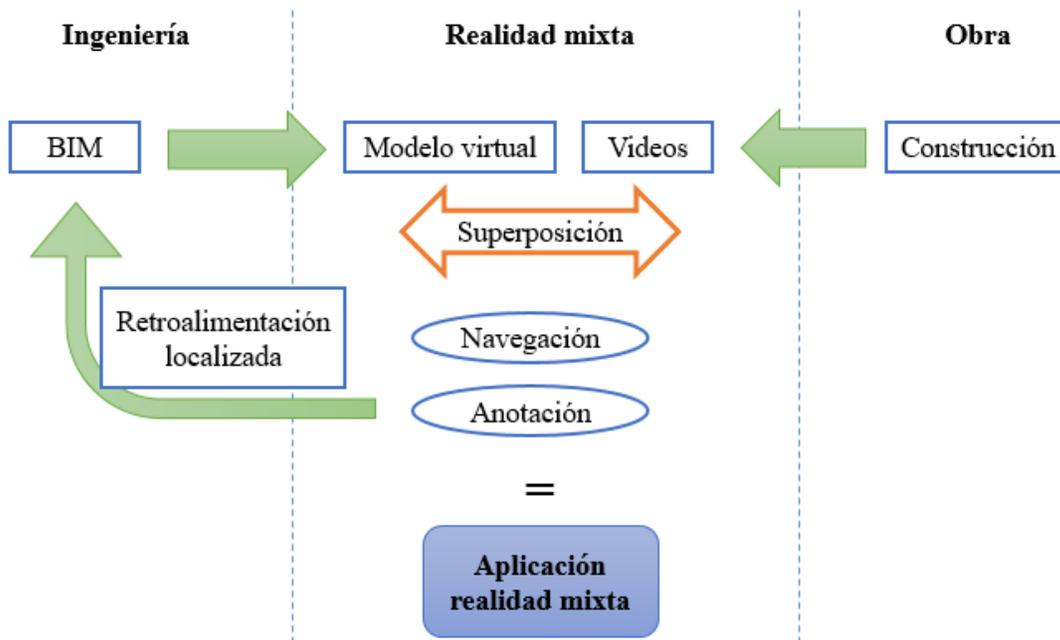
**Figura 6. Enfoque actual en la supervisión de una obra en construcción. Fuente: Raimbaud et al. (2019).**

Por otro lado, la propuesta presentada consiste en que el usuario pueda explorar el modelo BIM y el trabajo en construcción al mismo tiempo, realizando anotaciones y observando divergencias. En seguida, se procede a corregir los elementos identificados en el modelo, con la certeza que no se está modificando algún otro elemento que no corresponde (ver Figura 7).



**Figura 7. Nuevo enfoque en la supervisión de una obra en construcción. Fuente: Raimbaud et al. (2019).**

Para llevar a cabo lo anterior, se requiere apoyo de dos entornos que brindan información: el modelo BIM y la obra en construcción. Para obtener los datos de la obra, se hace uso de un vehículo aéreo no tripulado (UAV por sus siglas en inglés) más conocido como dron. En la Figura 8, se muestra la relación entre los entornos a utilizar y de qué manera se integran con la realidad mixta, obteniendo como resultado la retroalimentación directa en el modelo BIM.



**Figura 8. Aplicación de realidad mixta para el concepto de supervisión en la construcción.**  
**Fuente: Raimbaud et al. (2019).**

En este ejemplo, los autores dan una secuencia de pasos a seguir para ejecutar la labor de control. El primer paso es la obtención del modelo en 3D del edificio para poder utilizarlo en un programa de juegos en 3D, el cual es utilizado para las aplicaciones de realidad mixta. Dado que se está cambiando el ambiente de la modelación, Raimbaud et al. (2019) destacan que es necesario asignar de nuevo los materiales de los distintos elementos que conforman el edificio, haciendo más largo el proceso de empalme de las dos tecnologías. En segunda instancia, se recopila la información real de la obra donde se sugiere planear las tomas que realizará el dron para obtener la información necesaria y garantizar que se pueda hacer simetría entre los datos del modelo y la aplicación de realidad mixta.

Una vez se tenga la información que se va a procesar, se brinda dos interacciones al usuario: la primera consiste en la navegación dentro del modelo, simulando el vuelo del dron. La segunda es la visualización de los videos grabados con el dron dependiendo del punto de observación. Luego de estos pasos, se procede a combinar los dos entornos.

Dado que la propuesta es de realidad mixta, podría confundirse con una aplicación de realidad aumentada en donde se combina en un mismo dispositivo la información real proveniente de una cámara que capta el estado actual de la obra y la información computarizada. Con la realidad mixta se hace una superposición de los entornos fuera de línea y sin estar presente en las instalaciones

de la obra. Otra diferencia es que el dispositivo que adquiere la información de la construcción no es el mismo que proyecta la realidad mixta, por lo cual se pueden realizar tomas en lugares de la obra donde no sea accesible para los humanos. Es por eso que la realidad aumentada no se contempló como opción para el caso de estudio en cuestión.

Otro aspecto que tuvieron en cuenta los autores para el desarrollo de la aplicación, es darle al usuario la capacidad de poder escribir las anotaciones que crea correspondientes en los elementos implicados luego de realizar la superposición de entornos. Aunque esta función no corresponde a una de realidad mixta, si es indispensable poder exportar las anotaciones para transferirlas al programa de BIM y poder llevar a cabo las modificaciones. Además de esto, los autores proponen una sección en el programa BIM donde se registren las anotaciones que se obtuvieron de acuerdo a la revisión de la obra; todo esto para evitar el doble trabajo de tener que trasladar los comentarios de un programa a otro y así facilitar las modificaciones cuando se requieran.

Después de diseñar la propuesta, se llevó a cabo el experimento en donde se probaron los programas y las ayudas creadas para cumplir con el objetivo. El ensayo se realizó a treinta y dos profesionales del sector de la construcción cuyas edades oscilan entre los diecisiete y veintiséis años, siendo estos estudiantes de ingeniería civil o ingenieros civiles jóvenes que se encontraban liderando proyectos de construcción. La prueba duró entre diez y quince minutos por persona y consistió en varias actividades que debían cumplir, por ejemplo: navegar dentro del modelo en 3D para obtener una vista general del proyecto, ver uno de los videos que captó el dron de acuerdo al punto de interés, observar la superposición de algunos elementos de la modelación junto con el video y escribir un comentario acerca de un elemento en específico. Seguido a esto, debían exportar las anotaciones y abrir el modelo en el programa BIM, ejecutando la sección de supervisión de la construcción a través de la realidad mixta; allí se podía identificar de manera rápida los elementos con anotaciones gracias a que el programa propuesto los destaca con un color distinto al del modelo.

Para finalizar, se realizó también una encuesta con el fin de recibir retroalimentación del experimento, de la cual los autores obtuvieron las siguientes conclusiones y recomendaciones: se requiere más interacción con el modelo en tercera dimensión, no tener puntos determinados para explorar sino poder navegar en toda la modelación; se sugiere la integración de videos 360° y una mayor retroalimentación a los usuarios al momento de registrar una anotación de un elemento.

Todas las mejoras se pueden realizar basándose en la evaluación cualitativa y en la retroalimentación de los usuarios.

## **Conclusiones**

La inclusión de tecnologías emergentes en sectores como el de la construcción permite la optimización de los procesos y de todas las etapas del ciclo de vida de los proyectos de ingeniería civil. Las etapas en donde más se pueden obtener beneficios de los nuevos entornos informáticos son la planeación y el control, las cuales demandan más atención por parte de los gerentes de proyectos puesto que involucran todas las áreas de conocimiento y es donde más se pueden presentar errores y discrepancias con respecto a los diseños. Estas tecnologías buscan que la revisión y el monitoreo sea más práctico, haciendo que se puedan llevar a cabo sin necesidad de presenciar las obras en ejecución, ahorrando tiempos de desplazamiento entre la obra y la oficina. Por otro lado, la mejora en las etapas y procesos garantiza que la fabricación de un producto o un bien se dé mediante la optimización de recursos, certificando su calidad a un menor valor, todo esto ayudando a la eficiencia de las organizaciones para obtener el mayor rendimiento posible.

La aplicación de la realidad virtual, aumentada y mixta en proyectos de construcción hace que la toma de decisiones se pueda llevar a cabo de manera autónoma por parte de los sistemas y programas, necesitando únicamente la asistencia de un profesional en el tema cuando se presenten interferencias o conflictos que la máquina no pueda resolver. De esta manera, el proceso deja de ser centralizado, es colaborativo y pasa a ser una etapa automatizada, que es aquello que se busca con la cuarta revolución industrial. Este fenómeno está impactando las organizaciones ya que se tiene en cuenta la informática y automatización que hacen parte de la tercera revolución industrial, para combinarla con nuevos sistemas ciber-físicos con el fin de controlar la información desde cualquier ubicación (almacenamiento en la nube) y representar aquello que es del mundo real en un entorno computarizado.

El trabajo colaborativo en un proyecto de ingeniería civil es de suma importancia ya que éste involucra a una gran variedad de profesionales del sector de la construcción cuyos aportes modifican el proyecto en su totalidad. La coordinación y el orden en el desarrollo de la obra ayuda a la detección temprana de conflictos y/o posibles errores que se puedan dar a lo largo de la construcción. La colaboración no solo se da entre profesionales sino entre las plataformas tecnológicas que facilitan el manejo de información.

## Referencias bibliográficas

- Agarwal, S. (2016). Review on Application of Augmented Reality in Civil Engineering. International Conference on Inter Disciplinary Research in Engineering and Technology (2016): 68-71.
- Autodesk. (s.f.). ¿Qué es CAD/CAM? Sitio web: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-cam>
- Doka. (2019). DokaXact - the formwork positioning system of the future. Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=Uwsvwu5DPmE>
- Dormehl, L. (2017). 8 virtual reality milestones that took it from sci-fi to your living room. Sitio web: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-virtual-reality/>
- Dormehl, L. (2019). The U.S. Army is building a giant VR battlefield to train soldiers virtually. Sitio web: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/synthetic-training-environment-vr-training/>
- Gopinath, R. (2004). Immersive virtual facility prototyping for design and construction process visualization. The Pennsylvania State University, Department of Architectural Engineering.
- Incubicon (2018). ¿Cómo está revolucionando la Realidad Virtual el sector de la Ingeniería? Sitio web: <https://blog.incubicon.com/como-esta-revolucionando-la-realidad-virtual-el-sector-de-la-ingenieria>
- Kong, S. (2012). A Framework for Implementing Virtual Prototyping in Construction. 2nd International Conference on Emerging Trends in Computer and Image Processing (ICETCIP'2012), 2012 Bali.
- Lorenzo, C. (2017). Realidad virtual aplicada a la ingeniería civil. Estudio de Aplicación de sistemas de visualización y anotación Interactiva en infraestructuras civiles (tesis de pregrado). Universidad de La Laguna. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería – Sección de Ingeniería Civil, San Cristóbal de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España.
- Marr, B. (2018). The 4th Industrial Revolution Is Here - Are You Ready? Sitio web: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/08/13/the-4th-industrial-revolution-is-here-are-you-ready/#41c705e7628b>
- Mouyal, N. (2018). A brief history of immersive technologies. Sitio web: <https://medium.com/e-tech/a-brief-history-of-immersive-technologies-7f98cdcd8aa2>
- Ojanguren, M. (2016). Realidad virtual en la Ingeniería Civil – Virtualización de una obra (tesis de maestría). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria, Cantabria, España.

- Pardos, E. (s.f.). Realidad virtual y medicina: usos y aplicaciones. Sitio web: <http://www.baboonlab.com/blog/noticias-de-marketing-inmobiliario-y-tecnologia-1/post/realidad-virtual-y-medicina-usos-y-aplicaciones-27>
- Project Management Institute, Inc. (2016). Construction extension to the PMBOK Guide. Pennsylvania, EEUU: Newtown Square, PA.
- Puyana, G. (1995). Control Integral de la edificación. Bogotá, Colombia: Bhandar Editores LTDA.
- Raimbaud, P., Lou, R., Merienne, F., Danglade, F., Figueroa, P., & Hernández, J. (2019). BIM-based Mixed Reality Application for Supervision of Construction. IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User interfaces.
- Rojas, I. (2013). La percepción táctil o háptica. Sitio web: <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/escolar/la-percepcion-tactil-o-haptica-577402.html>
- Sánchez, A. (2016). BIM y las 7 dimensiones. Sitio web: <https://www.espaciobim.com/bim-3d-4d-5d-6d-7d/>
- Structuralia (2017). Del CAD al BIM: las claves de la transición digital. Sitio web: <https://blog.structuralia.com/del-cad-al-bim-las-claves-de-la-transicion-digital>
- Structuralia (2019). Diferencias entre CAD y BIM en proyectos de ingeniería. Sitio web: <https://blog.structuralia.com/diferencias-cad-bim-en-proyectos-de-ingenieria>
- Teseo (2017). Aplicaciones y usos de la realidad virtual. Sitio web: <https://teseo.es/noticias/aplicaciones-y-usos-de-la-realidad-virtual/>