

Pasantía de investigación “Apoyo a la revisión sistemática: Building Information Modeling (BIM) para el monitoreo y control de proyectos de construcción”

María Camila Mariño Espinel

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniera Civil

Director

Guillermo Mejía Aguilar

PhD en Ingeniería de la Construcción

Codirector

Jherson Jhadir Bohórquez Castellanos

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

### **Dedicatoria**

A mi madre, Victoria Espinel Rodríguez, quien fue mi motor durante toda mi carrera, siempre estuvo conmigo para apoyarme y que a pesar de las dificultades siempre ha luchado por mí y por mis sueños.

A mis tíos, Blanca Espinel, Jorge Pertuz y Juan Carlos Espinel, quienes me apoyaron durante toda la carrera, me brindaron su sabiduría, experiencia y siempre me impulsaron a dar lo mejor de mí y nunca frenar por las adversidades.

A mis abuelitos, María Antonia Rodríguez y Nazario Espinel, quienes siempre creyeron en todo lo que podía lograr y ayudaron en mi crianza.

Finalmente, le dedico este trabajo a mis amigos y compañeros de carrera: Danna, María Fernanda, Mayra y Duvan con quienes siempre fuimos de la mano estudiando, logrando grandes cosas y descubriendo en lo que somos buenos. También le dedico este proyecto a Laura, quien siempre estuvo conmigo y quien me brindó la ayuda para culminar este proyecto.

### **Agradecimientos**

Le agradezco al Semillero Modelado y Gestión de la Construcción del grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, por permitirme llevar a cabo esta investigación.

Agradezco también a Nury Salcedo por toda la colaboración que me ofreció durante el último año.

**Tabla de Contenido**

|                                                                                                           | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Introducción .....                                                                                        | 10   |
| 1. Objetivos .....                                                                                        | 12   |
| 1.1 Objetivo General .....                                                                                | 12   |
| 1.2 Objetivos Específicos.....                                                                            | 12   |
| 2. Marco Teórico.....                                                                                     | 13   |
| 2.1 Building Information Modeling (BIM).....                                                              | 13   |
| 2.2 Gestión del valor ganado (EVM).....                                                                   | 14   |
| 3. Metodología .....                                                                                      | 16   |
| 4. Resultados .....                                                                                       | 18   |
| 4.1 Similitudes y diferencias del uso integrado de EVM y BIM en el monitoreo y control de proyectos ..... | 18   |
| 4.2 Tendencias tecnológicas para el monitoreo y control de proyectos .....                                | 21   |
| 4.2.1 Building Information Modeling (BIM).....                                                            | 21   |
| 4.2.2 Tecnologías de captura de datos. ....                                                               | 26   |
| 4.3 Ventajas y desventajas del uso de tecnologías en el control de proyectos .....                        | 36   |
| 5. Conclusiones .....                                                                                     | 37   |
| Referencias Bibliográficas .....                                                                          | 39   |

### Lista de Figuras

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Edificación modelada en BIM .....                                                                                                | 14 |
| Figura 2. Curva S del EVM.....                                                                                                             | 15 |
| Figura 3. Metodología de la revisión sistemática.....                                                                                      | 17 |
| Figura 4. (Izquierda). Modelo 3D obtenido mediante escáner láser y fotos. (Derecha). Cálculo de los índices del EV .....                   | 19 |
| Figura 5. Método matricial.....                                                                                                            | 20 |
| Figura 6. Integración cronograma y modelo BIM 3D.....                                                                                      | 23 |
| Figura 7. Visualización del escenario para la seguridad de la zona de trabajo .....                                                        | 24 |
| Figura 8. Comparación entre los modelos “As-built” y “As-planned”. Modelo BIM “As-built” generado a partir de fotos tomadas del sitio..... | 27 |
| Figura 9. Escáner láser .....                                                                                                              | 28 |
| Figura 10. Sistema de monitoreo mediante RFID y BIM .....                                                                                  | 29 |
| Figura 11. Uso de dispositivos móviles para el control de proyectos .....                                                                  | 31 |
| Figura 12. (Izquierda). Modelo obtenido mediante LiDAR. (Derecha). Modelo planeado.....                                                    | 32 |
| Figura 13. Línea del tiempo con los principales aportes encontrados en la revisión entre los años 2000 - 2018 .....                        | 35 |

### Resumen en español

**Título:** Pasantía de investigación “Apoyo a la revisión sistemática: Building Information Modeling (BIM) para el monitoreo y control de proyectos de construcción”\*

**Autor:** María Camila Mariño Espinel\*\*

**Palabras Clave:** Monitoreo, Control, BIM, Proyectos de construcción, Valor Ganado, FDCT.

#### Descripción:

En la actualidad los proyectos de construcción enfrentan problemas como sobrecostos, retrasos, accidentes y falta de calidad en las obras, los cuales afectan el desempeño del proyecto. El monitoreo y control de proyectos juega un papel importante dentro del éxito de los proyectos, de allí la necesidad de implementar prácticas y de poder conocer los métodos y tecnologías que con el paso de los años se han implementado en el seguimiento de los proyectos. Building Information Modeling (BIM) es una herramienta ampliamente conocida en el sector de la construcción, debido a que permite el acceso a toda la información del ciclo de un proyecto, desde la planeación hasta la operación y el mantenimiento. El uso integrado de BIM con tecnologías de captura de datos o con métodos como la Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management o EVM), hacen de BIM una herramienta eficiente en el monitoreo. Este trabajo presenta una revisión sistemática entre los años 2000 y 2018 que tiene como finalidad la caracterización de los avances tecnológicos en el uso de BIM para control de los proyectos, además de exponer las ventajas y desventajas del uso de BIM en los proyectos de construcción. Sin embargo, es necesario aclarar que BIM es una herramienta y para el éxito de un proyecto, este debe tener bien planteados los procesos de gestión. La revisión está aplicada al control de cuatro de las diez áreas de conocimiento propuestas por el PMI: gestión de costos, gestión de tiempo, gestión de riesgos y gestión de la calidad.

\*Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. Co-director: Jherson Jhadir Bohórquez Castellanos.

### Abstract

**Title:** Research internship “Support for systematic review: Building information modeling (BIM) for construction project monitoring and control”\*

**Author:** María Camila Mariño Espinel\*\*

**Keywords:** Monitoring, Control, BIM, Construction Projects, Earned Value, FDCT.

### Description:

At present, construction projects face problems such as cost overruns, delays, accidents and lack of quality in the works, which affect the performance of the project. Project control and monitoring plays an important role in the success of the projects, hence the need to implement practices and knowing the methods and technologies that over the years have been implemented in project monitoring. Building Information Modeling (BIM) is a widely known tool in the construction sector, since it allows access to all the information of the project cycle, from planning to operation and maintenance, as well as facilitating project monitoring and control. The integrated use of BIM with field data capturing technologies (FDTC) or with methods such as Earned Value Management (EVM), make BIM an efficient monitoring tool. This paper presents a systematic review between 2000 and 2018 that aims to characterize the technological advances in the use of BIM for project control, in addition to exposing the advantages and disadvantages of the use of BIM in construction projects. However, it is necessary to clarify that BIM is a tool and for the success of a project, it must have well established management processes. The review is applied to control four of the ten areas of knowledge proposed by the PMI: cost management, time management, risk management and quality management.

\*Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. Co-director: Jherson Jhadir Bohórquez Castellanos.

## Introducción

En la actualidad los proyectos de construcción enfrentan desafíos en términos del cumplimiento de sus objetivos y de la optimización en el uso de recursos (mano de obra, equipos, materiales, entre otros). Dentro de los desafíos, los proyectos deben sortear problemas de sobrecostos (Bohórquez, Oviedo, y Mejía, 2018; Mejía, Leguizamo, y Reyes, 2017), retrasos (Pressoir, 1992; Tserng, Ho, y Jan, 2013), accidentes (Navon y Kolton, 2006) y falta de calidad (J. Wang et al., 2015), que se presentan cuando hay una desviación entre lo planeado para el proyecto y lo que realmente se obtuvo. Estos problemas se vuelven más críticos cuando no se aplican técnicas o sistemas para su control y gestión y pueden acarrear grandes pérdidas para los inversionistas.

El control de proyectos de construcción se ha convertido en un tema relevante de investigación, donde se busca la disminución de sobrecostos y retrasos (Novotn y Watson, 1992) desde la gestión de proyectos. Esta necesidad de optimizar tiempos y recursos se podría remediar con la implementación simultánea de sistemas de control de proyectos como la Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management o EVM) y de tecnologías emergentes como Building Information Modeling (BIM) (Aslani, Griffis, y Chiarelli, 2009; Fang, Cho, Zhang, y Perez, 2016; Omar y Nehdi, 2016). El uso de estos sistemas y tecnologías de captura de datos han marcado una tendencia en los proyectos de construcción pues han aportado al control y seguimiento de estos (Becerik-gerber, Jazizadeh, Li, y Calis, 2012; Fang et al., 2016; Omar y Nehdi, 2016) mostrando importantes resultados temporales y económicos. Sin embargo, a pesar de ser técnicas efectivas y recomendadas en investigaciones sobre medición de proyectos de construcción (Becerik-gerber

et al., 2012; Czemplik, 2014; Lu, Peng, Shen, Asce, y Li, 2013; Quentin y Joel, 1994), frecuentemente son pasadas por alto en el desarrollo de los mismos.

La unión e implementación de los sistemas mencionados promete innovar el ámbito constructivo, pues busca integrar los aportes de conocimiento de los profesionales, compartir un mismo objetivo y concebir una idea realista del producto a entregar (Alzraiee, 2018; Sun, Man, y Wang, 2015). Por tanto, es necesario que los proyectos de construcción empiecen a usar técnicas para controlar sus costos, cronogramas, seguridad y calidad y que las empresas y miembros del sector de la construcción le den importancia a estas técnicas que se encuentran ampliamente aceptadas en estándares para gestión de proyectos, como lo es la gestión del valor ganado. El propósito de este trabajo es la caracterización de los principales avances de las tecnologías emergentes como BIM durante los años 2000-2018 con ayuda de una revisión sistemática, la cual utiliza la investigación retrospectiva para buscar, recolectar, ordenar y analizar los resultados de múltiples investigaciones, con el fin de identificar los estudios relevantes para conocer los últimos avances en la disciplina estudiada (Sánchez-meca, 2010).

## **1. Objetivos**

A continuación se exponen los objetivos del desarrollo de esta revisión sistemática entre los años 2000 y 2018.

### **1.1 Objetivo General**

Esta pasantía de investigación tuvo como objetivo caracterizar los avances en Building Information Modeling (BIM) para el monitoreo y control de proyectos de construcción a través de una revisión sistemática entre los años 2000 y 2018, como trabajo de apoyo en la investigación en el grupo Geomática

### **1.2 Objetivos Específicos**

Se caracterizaron las similitudes y diferencias en el uso integrado de EVM y BIM para monitorear y controlar proyectos de construcción. Posteriormente, se identificaron las tendencias tecnológicas que permiten monitorear y controlar proyectos de construcción. Finalmente se determinaron las ventajas y desventajas del uso de estas tecnologías para el control de proyectos de construcción.

## **2. Marco Teórico**

### **2.1 Building Information Modeling (BIM)**

Building Information Modeling (BIM) es una tecnología emergente que permite recolectar y almacenar en una única base de datos toda la información referente a un proyecto de construcción, apoyando el desarrollo de los proyectos constructivos y permitiendo su simulación (Becerik-gerber et al., 2012; Lu et al., 2013), es por esto que los investigadores lo consideran una herramienta imprescindible en el control y gestión de la construcción. A través del desarrollo y uso de software computacionales inteligentes, el modelo BIM es una representación digital que posee información explícita y modificable de los diseños de un proyecto de construcción y que permite disminuir pérdida de tiempo y recursos (Aslani et al., 2009; Fang et al., 2016; Hajian y Becerik-Gerber, 2009).

Dentro de los objetivos del desarrollo de BIM están: 1. Facilitar el intercambio de información entre los pares del proyecto; 2. Obtener un modelo de la totalidad de los elementos de construcción del proyecto, que también puede ser alimentado en cualquier instante por nueva información producida en el equipo de diseño (Trani, Cassano, Todaro, y Bossi, 2015); 3. Generar un modelo en el cual se puede encontrar la ubicación espacial y las dimensiones de los elementos, las características y el tipo de material de construcción, detalles en general y posibles errores en obra, entre otros (Figura 1) 4. Facilitar la simulación del proceso constructivo.



*Figura 1.* Edificación modelada en BIM. Adaptado de: (Trani et al., 2015)

## 2.2 Gestión del valor ganado (EVM)

La gestión del valor ganado es un sistema que permite conocer el actual estado de un proyecto al calcular los índices de rendimiento y pronósticos del costo y cronograma de un proyecto, además provee indicaciones de los resultados de éste (Anbari, 2003) y permite a los integrantes del proyecto tomar las medidas necesarias para corregir los retrasos y planear las soluciones a los sobrecostos. El método integra tres elementos críticos de cada proyecto: el alcance, los costos y el tiempo. Mediante la Curva S (Figura 2) se relacionan los costos y el cronograma para medir el rendimiento del proyecto, de allí se pueden calcular los valores que permiten determinar el estado actual del proyecto (Vandevoorde y Vanhoucke, 2006) con base en la comparación del avance real respecto al planificado en el periodo acumulado.

Aunque el método puede ser usado para el tiempo y la programación, es generalmente usado para los costos (Benjaoran, 2009; Liu, 2011; Valderrama y Guadalupe Garcia, 2010), pues los usuarios consideran que el método no está completamente desarrollado en función de controlar el tiempo. En nuevas investigaciones se ha desarrollado el término enfocado en su control (Lipke, 2003; Moslemi, Shadrokh, y Salehipour, 2011; Vandevoorde y Vanhoucke, 2006).

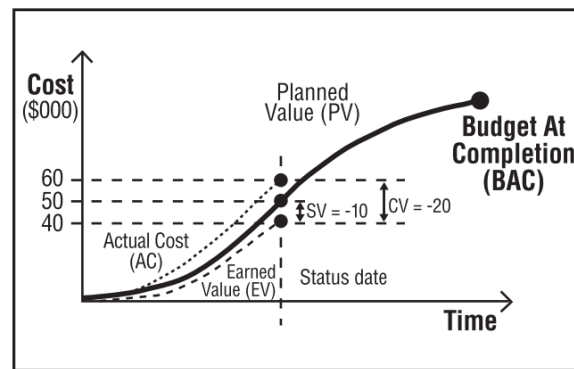


Figura 2. Curva S del EVM. Adaptado de: (Anbari, 2003)

Al definir el sistema es necesario precisar los elementos que lo componen (Figura 2) y son el fundamento de su análisis (Anbari, 2003; Sun et al., 2015; Valderrama y Guadalupe Garcia, 2010; Vandevoorde y Vanhoucke, 2006): el Valor Planeado (Planned Value o PV) que es el rendimiento planificado actual del proyecto en términos del costo; el Presupuesto al Finalizar (Budget at Completion o BAC) hace referencia al presupuesto final total de todo el proyecto, es decir, lo que debería costar todo el proyecto una vez que ha finalizado; el Costo Real (Actual Cost o AC) se mide con la información recolectada en obra sobre lo que se ha completado hasta el momento y se determina el costo de dicho desarrollo; y el Valor Ganado (Earned Value o EV) se define como el trabajo completado hasta la fecha.

Ahora bien, los elementos que usa el método para medir el rendimiento (Figura 2) también son definidos (Anbari, 2003; Sun et al., 2015; Valderrama y Guadalupe Garcia, 2010; Vandevoorde y Vanhoucke, 2006). La Variación del Costo (Cost Variance o CV) básicamente es la diferencia entre el trabajo completado (EV) y el costo real (AC). Así mismo el Índice del Desempeño del Costo (Cost Performance Index o CPI) se obtiene de la relación  $EV/AC$ . Variación del Cronograma (Schedule Variance o SV) que es la diferencia entre EV y PV, mientras que el Índice del

Desempeño del Cronograma (Schedule Performance Index o SPI) es igual a  $EV/PV$ ; Lipke (Lipke, 2003) definió un nuevo término, en función de controlar el tiempo, el Cronograma Ganado (Earned Schedule o ES) el cual se usaría en  $SV = ES - AT$  donde AT es el tiempo real. Así mismo, SPI sería  $ES/AT$ .

### 3. Metodología

En el presente trabajo se llevó a cabo una revisión sistemática gracias a la identificación de investigaciones realizadas en el área de monitoreo y control de proyectos de construcción apoyadas en la tecnología BIM (Building Information Modeling), en las que se observó que hay una cantidad reciente de publicaciones relacionadas, haciendo necesaria la caracterización de los avances relacionados con BIM, monitoreo y control en proyectos construcción.

En la Figura 3, se representa el proceso que guio, de manera general, la revisión sistemática realizada. En primer lugar, se definió el alcance que podría tener la revisión y la intención de la investigación, con el fin de estimar el número de fuentes a consultar. Luego se determinaron las bases de datos y las áreas de aplicación. A continuación, se definieron y combinaron las palabras claves, luego se buscaron los artículos por palabra clave en cada base de datos y se procedió a extraer los detalles relevantes de cada investigación encontrada, para evaluar la calidad de los estudios y su utilidad dentro de la investigación planteada. Se interpretó y organizó la evidencia con el fin de clasificar las investigaciones y, finalmente, se concluyó sobre las posibles líneas de investigación a desarrollar en un futuro y su implicación en la práctica.

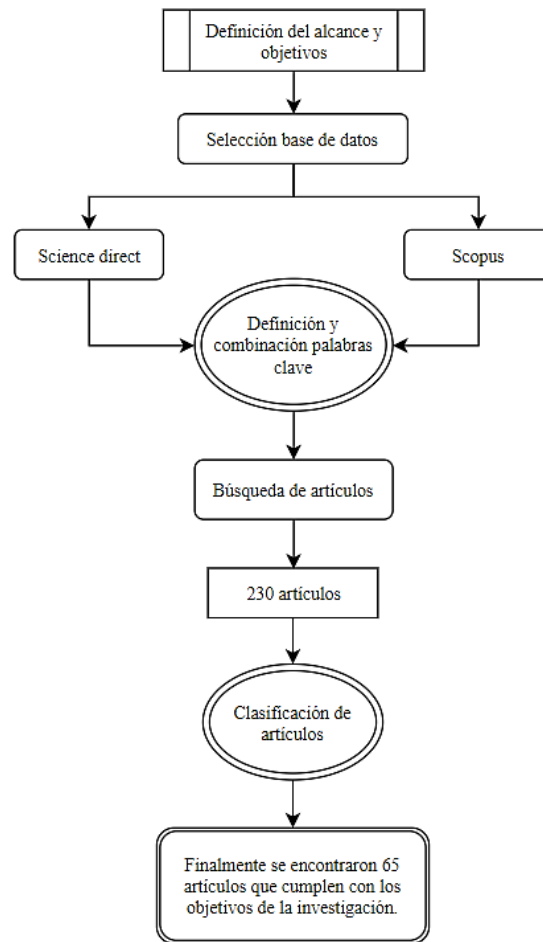


Figura 3. Metodología de la revisión sistemática.

Para la clasificación de los artículos, se tuvo en cuenta que el monitoreo y control estuviera enfocado a ciertas áreas de conocimiento propuestas por el Project Management Institute (PMI) (Project Management Institute, 2013) y también se observó a qué recurso se le realizaba el seguimiento. Esto, como parte del alcance planteado al principio de esta investigación.

La rama que más artículos agrupó fue de investigaciones que integran el seguimiento, control y monitoreo de obras con BIM y tecnologías para captura de datos. En la sección de resultados se exponen y caracterizan los avances encontrados para dar cumplimiento al objetivo planteado.

## **4. Resultados**

Los resultados están clasificados en tres subcapítulos, en torno a la consecución de los objetivos y alcance planteados. De esta manera se agrupan los hallazgos y se facilita el entendimiento a los lectores.

### **4.1 Similitudes y diferencias del uso integrado de EVM y BIM en el monitoreo y control de proyectos**

En el control de proyectos es común el uso del método o análisis del valor ganado (EVM/EVA, por sus siglas en inglés), cómo técnica de monitoreo. Esta técnica ha tenido bastante aceptación dentro de los investigadores (Anbari, 2003; Vandevoorde y Vanhoucke, 2006). Actualmente, se ha dado el uso integrado de BIM y el valor ganado como técnica de seguimiento. A continuación se expondrán las principales similitudes y diferencias en el uso de estas dos técnicas.

Dentro de las principales similitudes se encuentra el uso de modelos BIM para la extracción de las cantidades de obra (El-Omari y Moselhi, 2011; Marzouk y Hisham, 2014; Turkan, Bosché, Haas, y Haas, 2013) que luego son utilizadas en el cálculo de los índices del valor ganado (Azimi, Lee, Abourizk, y Alvanchi, 2011; P.-H. Chen, 2008; El-Omari y Moselhi, 2011; Turkan et al., 2013). La extracción de las cantidades directamente del modelo permite obtener la información y costos de cada elemento y recurso, al multiplicarlas con los precios unitarios (Marzouk y Hisham, 2014). Además, se puede hacer mención al uso de tecnologías de capturas de datos como herramientas que prevén los errores humanos y ahorran tiempo (El-Omari y Moselhi, 2011). La

identificación por radio frecuencia (Radio Frequency IDentification o RFID) ha sido usada como tecnología de captura de datos para el monitoreo y control del costo y el cronograma en proyectos (Azimi et al., 2011). También se hizo uso del escáner láser (El-Omari y Moselhi, 2011; Turkan et al., 2013) (Figura 4a) y GIS (Elbeltagi y Dawood, 2011). Como se mencionó anteriormente, estas herramientas han sido usadas para la captura de datos de la obra y así proveer el estado de lo construido. Luego, con esta información se consiguen las cantidades de trabajo realizado y se calcula el porcentaje completado y los índices de rendimiento del valor ganado para así hacer control del costo y del cronograma.

En la Figura 4b, se observa la interfaz desarrollada por los investigadores, en la cual se ingresan las cantidades extraídas de la obra mediante el escáner láser y se actualiza el estado del proyecto.

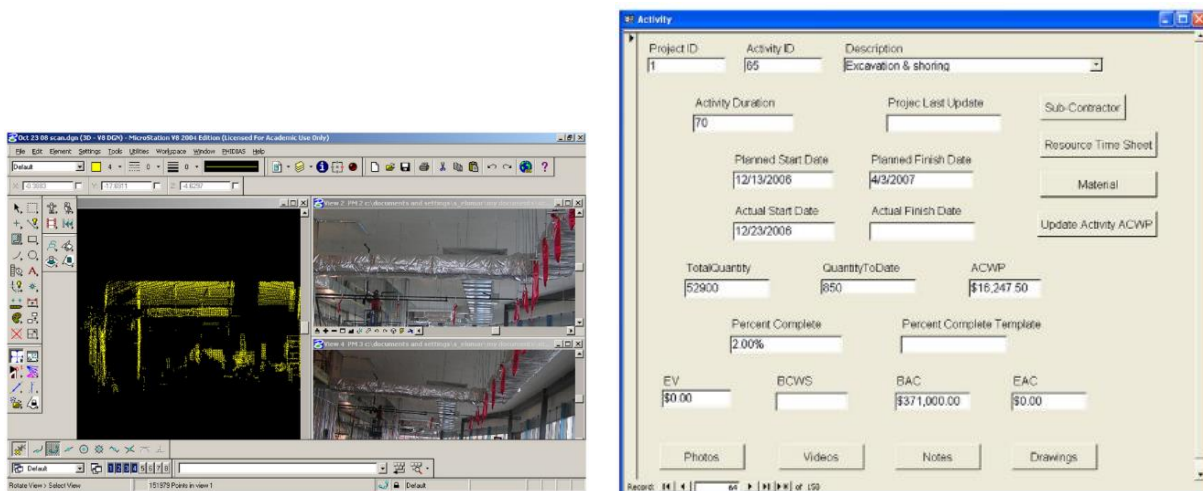


Figura 4. (Izquierda). Modelo 3D obtenido mediante escáner láser y fotos. (Derecha). Cálculo de los índices del EV. Adaptado de: (El-Omari y Moselhi, 2011).

El campo de aplicación puede ser considerado dentro de las diferencias encontradas, pues la integración de BIM y EV se puede dar en proyectos de estructuras metálicas (Azimi et al., 2011), en puentes (Marzouk y Hisham, 2014) o simplemente cambiar el enfoque de su uso general para mejorar la gestión de los riesgos de un proyecto de construcción (Sun et al., 2015). Como ha sido

mencionado anteriormente, el valor ganado es generalmente usado para el control del cronograma y el presupuesto dentro de una construcción y el modelo BIM puede contener toda la información de un proyecto. Esto permitió desarrollar un modelo de alerta temprana de riesgos en el costo y en el cronograma del proyecto de construcción basado en BIM (BIM based-Construction Project Cost and Schedule Risk Early Warning o BIM-CPCSREW) (Sun et al., 2015).

Finalmente, dentro de las investigaciones encontradas, Chen (P.-H. Chen, 2008) evitó el uso de tecnologías de capturas de datos y en cambio desarrolló un método matricial para establecer la relación entre el costo y el cronograma mediante el EVA; usando las matrices y hojas de cálculo de Excel (Figura 5), halló los índices del valor ganado (CPI y SPI) y así demostró la necesidad de la integración del costo y del cronograma en la evaluación del desempeño del proyecto.

|    | A                                                     | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      | I      | J      | K     | L      | M      | N      | O      | P      | Q      |
|----|-------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | <i>Cost Performance Index (CPI) = BCWP / ACWP</i>     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |
| 2  |                                                       | W_1    | W_2    | W_3    | W_4    | W_5    | W_6    | W_7    | W_8    | W_9    | W_10  | W_11   | W_12   | W_13   | W_14   | W_15   | W_16   |
| 3  | <b>BCWP</b>                                           | 6007.5 | 6007.5 | 6007.5 | 11384  | 16624  | 11444  | 12569  | 6219   | 6219   | 1969  | 400    | 800    | 880    | 1405   | 1880   | 555    |
| 4  | <b>ACWP</b>                                           | 6012.5 | 6012.5 | 6012.5 | 11556  | 16797  | 11770  | 12895  | 6540   | 6540   | 2205  | 480    | 960    | 1060   | 1585   | 2260   | 775    |
| 5  | <b>CPI</b>                                            | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9851 | 0.9897 | 0.9723 | 0.9747 | 0.9509 | 0.9509 | 0.893 | 0.8333 | 0.8333 | 0.8302 | 0.8864 | 0.8319 | 0.7161 |
| 6  |                                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |
| 7  |                                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |
| 8  | <i>Schedule Performance Index (SPI) = BCWP / BCWS</i> |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |
| 9  |                                                       | W_1    | W_2    | W_3    | W_4    | W_5    | W_6    | W_7    | W_8    | W_9    | W_10  | W_11   | W_12   | W_13   | W_14   | W_15   | W_16   |
| 10 | <b>BCWP</b>                                           | 6007.5 | 6007.5 | 6007.5 | 11384  | 16624  | 11444  | 12569  | 6219   | 6219   | 1969  | 400    | 800    | 880    | 1405   | 1880   | 555    |
| 11 | <b>BCWS</b>                                           | 6007.5 | 6007.5 | 6007.5 | 14508  | 13500  | 13944  | 10069  | 10469  | 1969   | 1969  | 400    | 800    | 880    | 1405   | 1880   | 555    |
| 12 | <b>SPI</b>                                            | 1      | 1      | 1      | 0.7847 | 1.2314 | 0.8207 | 1.2483 | 0.594  | 3.1585 | 1     | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      |
| 13 |                                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |
| 14 |                                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |

Figura 5. Método matricial. Adaptado de: (P.-H. Chen, 2008)

## 4.2 Tendencias tecnológicas para el monitoreo y control de proyectos

**4.2.1 Building Information Modeling (BIM).** A través de los años, Building Information Modeling (BIM) ha tomado fuerza entre las metodologías de control y monitoreo en los proyectos de construcción, porque ha demostrado ser una herramienta eficiente que de ser correctamente aplicada puede ayudar en el seguimiento de las áreas de conocimiento propuestas por el Project Management Institute (PMI) (Project Management Institute, 2013). Este artículo está enfocado en el control y seguimiento algunas áreas como el cronograma (Oliveros y Fayek, 2004; Perera y Imriyas, 2004; R. Sacks, Navon, y Goldschmidt, 2003), el costo (Perera y Imriyas, 2004), (Bargstädt, 2015), la calidad (Y. Zhang, Yang, y Cai, 2018) y la seguridad (Navon y Kolton, 2006; Sharmanov, Simankina, y Mamaev, 2017; S. Zhang, Teizer, Pradhananga, y Eastman, 2015), aunque adicionalmente se hace mención del riesgo, los recursos (Babič, Podbreznik, y Rebolj, 2010; R. Sacks, Navon, Brodetskaia, y Shapira, 2005) y el progreso (Gurevich y Sacks, 2013; Park y Cai, 2017a; R Sacks, Treckmann, y Rozenfeld, 2009; Rafael Sacks, Radosavljevic, y Barak, 2010).

El monitoreo del cronograma se puede realizar mediante el reporte del progreso y retraso de las actividades planeadas en el cronograma (Oliveros y Fayek, 2004; R. Sacks et al., 2003). Sacks, Navon y Goldschmidt (R. Sacks et al., 2003) desarrollaron un sistema que integraba la recopilación automatizada de datos (Automated Data Collection o ADC) del sitio con el modelo computarizado del Proyecto de Construcción (Building Project Model o BPM). El Sistema, además de contar con el diseño del edificio y los recursos que se debían ejecutar, incluía el cronograma de actividades planeadas. Esta metodología también se puede complementar con un sistema de prevención y actualización del cronograma (Oliveros y Fayek, 2004) mediante técnicas de lógica difusa;

Oliveros y Fayek (2004) proponen un modelo que analiza la información diaria del sitio, modifica la duración de las actividades retrasadas y examina el impacto de estos retrasos en la duración de todo el proyecto.

Dentro del desarrollo de BIM se habla de los modelos nD, que hacen referencia a n dimensiones de los modelos; cuando el modelo BIM integra el cronograma, se habla de BIM 4D (L. Chen y Luo, 2014; R Sacks et al., 2009; Zhou, Ding, Wang, Truijens, y Luo, 2014). La integración del calendario y el modelo 3D (Figura 6) se puede realizar mediante softwares como MS Project (Goyal y Jha, 2017; Navon y Kolton, 2006; Perera y Imriyas, 2004; X. Wang, Truijens, Hou, Wang, y Zhou, 2014), Primavera (Oliveros y Fayek, 2004), (Zhou et al., 2014), entre otros. Perera e Imriyas (2004) usaron MS Access<sup>TM</sup> y MS Project<sup>TM</sup> como un sistema de información de gestión de costos y tiempo, con el cual estimaban duraciones de actividades, recursos físicos y financieros que luego comparaban con los datos de la obra. Este método es común entre los autores, los cuales generan el cronograma y luego lo comparan con la información del sitio (Goyal y Jha, 2017; X. Wang et al., 2014) para medir la desviación entre lo estimado y lo ocurrido. Teniendo el estado actualizado de la obra se pueden tomar las acciones correspondientes. Zhou et al. (2014) y Wang et al. (2014) en 2014, mediante modelado BIM 4D generado a partir del modelo 3D integrado con Primavera 6 (Zhou et al., 2014); controlaron y monitorearon la construcción de megaproyectos de gas natural licuado a través de realidad aumentada (Augmented Reality o AR) y BIM (Zhou et al., 2014), (X. Wang et al., 2014). Adicionalmente, el usuario puede acceder al modelo simulado y obtener toda la información de cada elemento, estas simulaciones se pueden desarrollar con Visual Basic (Goyal y Jha, 2017). Navisworks (L. Chen y Luo, 2014; X. Wang et al., 2014); las simulaciones y la integración con el cronograma hacen de los modelos BIM 4D una herramienta eficiente en el seguimiento del progreso de un proyecto de construcción.

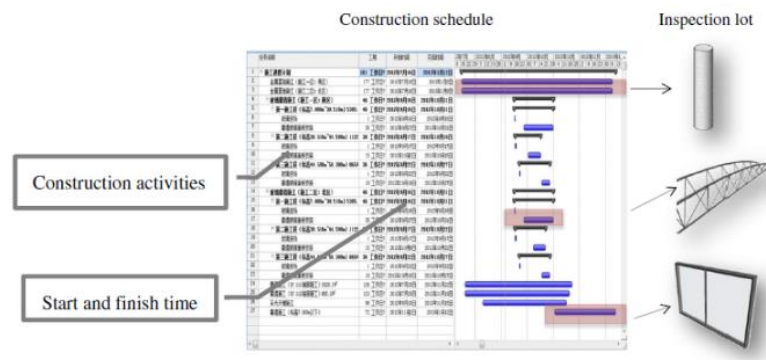


Figura 6. Integración cronograma y modelo BIM 3D. Adaptado de: (L. Chen y Luo, 2014)

Además, si el modelo integra el cronograma y los costos, se refiere a BIM 5D. Bargstädt propuso un modelo BIM 5D el cual integra el modelo BIM 3D, junto con el cronograma y el presupuesto, el cual le permitía tener acceso al estado de la obra y conocer los retrasos y sobrecostos que se podían estar generando (Bargstädt, 2015). Este método permite tener mayor control directo sobre el proyecto y poder tomar las medidas que sean necesarias. Algunos autores como Mo (2018), quien realizó una revisión de la aplicación de BIM en el control de costos durante todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción, también han optado por monitorear solamente el presupuesto. También se puede generar una estructura desagregada de costo, con la finalidad de almacenar todos los datos de la obra, para el control, mantenimiento y toma de decisiones (Park y Cai, 2017b).

La seguridad en un proyecto de construcción juega un papel primordial en el desarrollo del mismo, por ello es necesario generar métodos de control y seguimiento que permitan mantener a los trabajadores en zonas seguras y mitigar los riesgos que se puedan presentar. Navon y Kolton (Navon y Kolton, 2006) en 2006, desarrollaron un modelo automatizado para identificar actividades peligrosas planeadas en el cronograma. El sistema permite generar un aviso sobre el lugar donde deberían instalar sistemas de prevención, donde fueron removidos o donde están

incompletos. Mitigar el riesgo de caídas y la prevención de accidentes se puede hacer con modelado BIM (Sijie Zhang et al., 2015), (Sharmanov et al., 2017) de las actividades de torres de grúas (Y. Li y Liu, 2012), monitoreando equipos de elevación empleando un monitor “caja negra” y un modelo BIM (R. Sacks et al., 2005). El desarrollo de la visualización automatizada del espacio de trabajo en BIM (Figura 7) por medio de la recolección de datos históricos (Sijie Zhang et al., 2015), o de los equipos de elevación (R. Sacks et al., 2005) forma parte fundamental de la planificación de la seguridad en la construcción. Para el monitoreo y control de la protección laboral, el modelado BIM evalúa la situación real del entorno de trabajo y estima los factores riesgosos para reaccionar rápidamente ante posibles situaciones peligrosas (Sharmanov et al., 2017).



*Figura 7.* Visualización del escenario para la seguridad de la zona de trabajo. Adaptada de: (Sijie Zhang et al., 2015)

En el control de la calidad, Cherkina, Shushunova y Zubkova (2018) aplicaron tecnologías BIM para el monitoreo de la seguridad y la calidad en la construcción, observando varios ejemplos

y usando un modelo 4D, mientras que Zhang, Liu y Cai (2018) desarrollaron un modelo BIM para el control de la calidad en proyectos de mampostería.

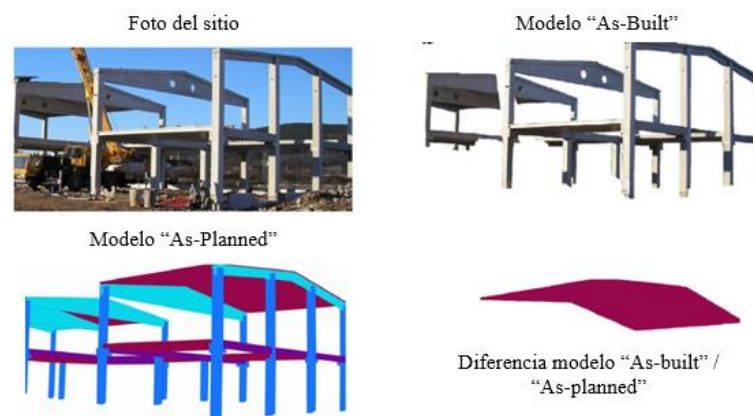
Otra de las áreas comunes de estudio es el monitoreo del progreso de las obras, Park y Cai (2017a) desarrollaron un modelo BIM 4D para monitorear dicho progreso. Ellos buscaron actualizar automáticamente el modelo mediante el ingreso de datos por la web. El seguimiento también puede ser realizado al controlar los materiales, la producción y entrega de los elementos constructivos mediante un modelo BIM (Babič et al., 2010). Asimismo, el sistema de gestión “Lean Construction” se integró con BIM para el seguimiento del progreso. Lean Construction hace referencia a “cualquier gestión de construcción basada en software que admita los flujos de trabajo de gestión, y particularmente LPS” (Dave, Kubler, Främling, y Koskela, 2016, p.87), como KanBIM. Se implementó KanBIM (Gurevich y Sacks, 2013) para controlar las actividades por realizar y las completadas y mediante Realidad Virtual (Virtual Reality o VR) y BIM se monitoreaban los trabajos, también fue usado para mejorar el flujo de trabajo y así supervisar el progreso de la construcción (Rafael Sacks et al., 2010). Sacks, Treckmann y Rozenfeld (2009) crearon una interfaz que le permitía al trabajador reconocer el sitio de trabajo y la actividad a realizar, para posteriormente actualizar el estado de la obra; usaron BIM 4D CAD + Lean construction.

Finalmente, se realizaron revisiones de las diferentes herramientas BIM, sus contribuciones, obstáculos, y aplicaciones en el campo (J. Li, Li, Peng, Cui, y Wu, 2018), así como una interfaz basada en BIM y FM (Facilities Management) para observar cómo se puede mejorar y facilitar el control durante todo el ciclo de vida de un proyecto y reconocer las áreas en las que las prácticas FM y BIM pueden ser útiles (Becerik-gerber et al., 2012).

**4.2.2 Tecnologías de captura de datos.** Según Alizadehsalehia y Yitmen (2016), la integración de BIM con las tecnologías de captura de datos permite mejorar el monitoreo automatizado del progreso de proyectos de construcción, por lo que en este artículo se exponen algunas investigaciones realizadas entre el 2005 y el 2018 que permiten dar a conocer a los lectores los métodos y utilidades encontradas dentro de la gestión de proyectos. Para Alizadehsalehia y Yitmena, las tecnologías son: Modelado basado en imágenes, Láser escáner 3D, Identificación por Radio Frecuencia (RFID, por sus siglas en inglés), Códigos de barras, Ultra banda ancha (UWB, por sus siglas en inglés), GPS y Red de sensores inalámbricos (WSN, por sus siglas en inglés). Esta sección está dividida según la tecnología implementada.

El uso del modelado mediante imágenes del sitio inicia en el 2005, a través del desarrollo de un modelo que integra AutoCAD con fotografías digitales y permite evaluar el progreso actual de la obra con las fotos del sitio que actualizan el modelo 3D de manera automatizada y documentan el cronograma de lo construido día a día (Memon, Majid, y Mustaffar, 2005). Posteriormente, se habla de la comparación entre lo construido y lo planeado (Figura 8) con el desarrollo de los modelos “as-built” y “as-planned” (Golparvar-fard, Peña-mora y Savarese, 2009; Golparvar-fard y Savarese, 2011; Han y Golparvar-Fard, 2015; Rebolj, Babic, Magdic, Podbreznik y Pšunder, 2008). En este caso, Rebolj et al. (2008) recopila la información de la obra mediante fotos del sitio, y genera un modelo con el estado actual que luego es comparado con el modelo BIM 4D; esta comparación permite a los integrantes del proyecto conocer el estado de la obra. Otros autores representaron lo construido mediante un entorno de Realidad Aumentada 4D (D<sup>4</sup>AR, por sus siglas en inglés) (Golparvar-fard et al., 2009; Golparvar-fard y Savarese, 2011). Han y Golparvar-Fard (2015), utilizaron la comparación entre los modelos “as-built” y “as-planned” (BIM 4D) para realizar el seguimiento del proyecto mediante imágenes de lapso de tiempo, el sistema clasificaba

los elementos por su apariencia y así establecía el progreso. El interés de los investigadores de automatizar la recolección de datos procede de evitar los errores que puede generar el ingreso manual, además de ahorrar tiempo y dinero en ello (Marzouk y Hisham, 2014). Para el control del progreso de un proyecto de construcción mediante procesamiento de imágenes y la generación de un modelos BIM 4D (Golparvar-fard, Peña-Mora, y Savarese, 2014; Kim, Kim, y Kim, 2013), los autores crean un sistema que les permita acceder a los modelos de manera remota, tener acceso a la información del sitio y con el cual puedan conocer el estado de la obra.



*Figura 8.* Comparación entre los modelos “As-built” y “As-planned”. Modelo BIM “As-built” generado a partir de fotos tomadas del sitio. Adaptado de: (Rebolj et al., 2008)

En 2005 también es investigado un sistema para monitorear y controlar los movimientos de tierra en las obras que requieren importantes actividades subterráneas a través del uso de escáner laser (Figura 9). Hashash, Filho, Su y Liu (2005) recopilan los datos del sitio para generar el modelo 3D y monitorear las excavaciones. Igualmente, se habla de la comparación entre los modelos as-built y as-planned, pero esta vez, utilizando un sistema que mide el progreso de la construcción mediante escaneo láser, modelos 3D (Bosche, Haas, & Murray, 2008) y 4D (Yelda

Turkan, Bosche, Haas, & Haas, 2011) La desviación entre los dos modelos permite a los integrantes de la obra conocer el estado real del proyecto. En el control de la calidad mediante escaneo láser (Bosché & Guenet, 2014; Bueno, Bosché, González-Jorge, Martínez-Sánchez, & Arias, 2018; M. K. Kim et al., 2016), pueden monitorearse los elementos prefabricados de concreto mediante la técnica de control de calidad dimensional (DQA, por sus siglas en inglés) y la comparación as built – as planned (M. K. Kim et al., 2016); los aspectos físicos como la planura del piso en una obra (Bosché & Guenet, 2014) y la calidad general del proyecto (Bueno et al., 2018). Esta tecnología también puede ser aplicada para controlar trabajos eléctricos, mecánicos y de tuberías (Bosché, Guillemet, Turkan, Haas, & Haas, 2014) y en control de la calidad, seguridad y retrasos de construcción usando tecnologías como realidad virtual y realidad aumentada integradas con BIM (Yu et al., 2018)

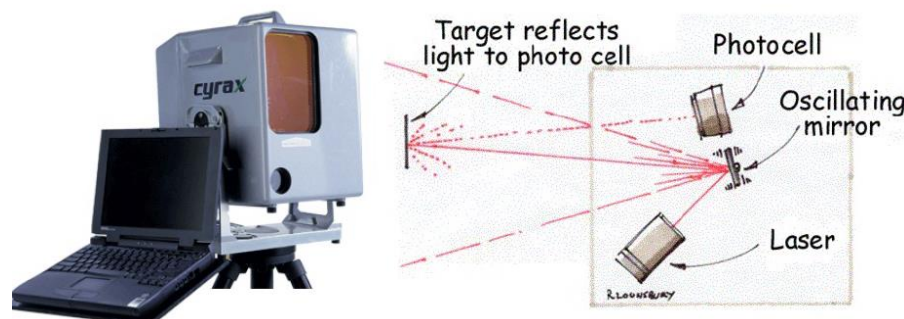


Figura 9. Escáner láser. Adaptado de: (Hashash et al., 2005).

En 2011, se dio paso a investigar en proyectos de construcción en acero. Xie, Shi y Issa (2015) usaron la captura de datos por identificación de radio frecuencia (RFID) junto con modelos BIM para generar una simulación en Realidad Virtual (VR). El sistema integrado permite obtener información en tiempo real de los componentes del proyecto y reducir los errores en el desempeño de actividades como la fabricación e instalación de elementos estructurales. El sistema de

identificación por radio frecuencia (RFID) puede ser usado para el seguimiento de la mano de obra en el cumplimiento de sus actividades (Costin, Teizer, & Schoner, 2015) y que al ser integrado con BIM (Cheng & Chang, 2017; Fang et al., 2016) permite el monitoreo en tiempo real (Figura 10), el almacenamiento en la nube (Fang et al., 2016), y la gestión de la información de proyectos “open-building” (Cheng & Chang, 2017). El uso de esta tecnología también puede estar destinado no solo al control de actividades mediante el rastreo del personal sino al monitoreo de la seguridad debido a que se controla a qué áreas pueden o no ingresar los sujetos dependiendo del cargo que desempeñen (Costin et al., 2015). Asimismo, el modelo BIM puede ser simulado mediante realidad virtual (Cheng & Chang, 2017).

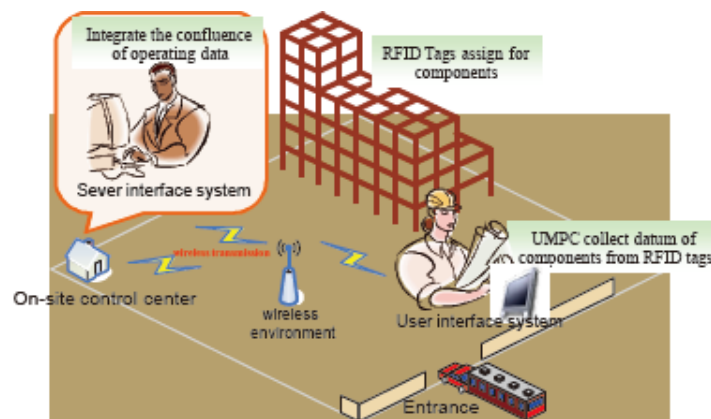


Figura 10. Sistema de monitoreo mediante RFID y BIM. Tomado de: (Cheng & Chang, 2017).

Posteriormente, en 2015 para el control de la seguridad en la obra, se desarrolló un método que facilitaba la visualización del espacio del trabajo con la ayuda de un sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) (S Zhang, Teizer, & Pradhananga, 2015). El sistema funciona de la siguiente forma: primero colocan unos transmisores en los cascos de seguridad de los trabajadores y mediante GPS y la visualización del espacio de trabajo (modelo

BIM), localizan a los trabajadores en el sitio para la realización de sus actividades. Este método permitía conocer la información del espacio del trabajo en el que se iba a desempeñar el recurso y establecer los posibles riesgos para mantener la seguridad.

Por otra parte, en 2006 se implementó un sistema llamado Sistema de Monitoreo de Progreso con Sistemas de Información Geográfica (PMS-GIS, por sus siglas en inglés), que permitía obtener información de la obra en tiempo real y monitorear el progreso; el modelo 4D era actualizado mediante GIS (Poku & Arditi, 2006).

Con respecto a los sensores como tecnología de captura de datos, en 2016, propusieron una técnica para el seguimiento en interiores (JeeWoong Park, Cho, & Ahn, 2016). La técnica integra sensores Bluetooth de baja energía (BLE, por sus siglas en inglés) y sensores de movimiento con BIM; esta investigación demostró ser útil para la estimación de la posición en tiempo real. Después de esto, en 2017, diferentes autores integraron BIM y BLE en la gestión de proyectos, donde BLE fue usada como método de localización y seguimiento (Dong, Li, & Yin, 2018; J. Park, Cho, & Kim, 2017; von Heyl & Teizer, 2017); los sensores pueden ser instalados en los cascos de los trabajadores y mediante sensores Bluetooth se actualiza y analiza la información del modelo (Dong et al., 2018). Heyl y Teizer, (2017) buscaron un método para incluir Lean Construction Management y BIM con BLE y una plataforma IoT para el seguimiento del progreso y a información actual del sitio.

Finalmente, Teizer, Venugopal y Walia (Teizer, Venugopal, & Walia, 2008), implementaron un método para rastrear y seguir la trayectoria de los recursos (equipos, mano de obra y materiales) en tiempo real; mediante el uso de ultra banda ancha (UWB, por sus siglas en inglés) se ubica el recurso dentro de la obra y su trayectoria 3D, ya sea para monitorear un entorno seguro, para analizar el flujo de los materiales o para medir la productividad en el proyecto.

**4.2.3 Recopilación de otras tecnologías.** En esta sección se mostrarán aquellas tecnologías que no se encuentran en lo propuesto por Alizadehsalehia y Yitmen (2016).

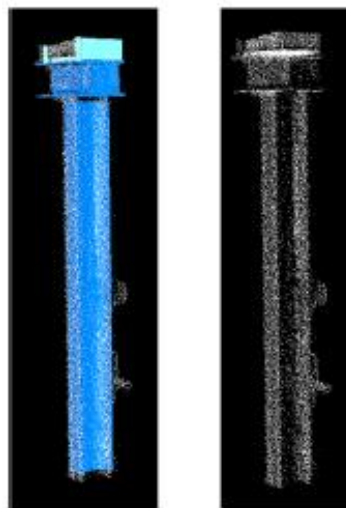
El uso de dispositivos móviles (Figura 11) para el monitoreo y control del progreso de obras se dio de manera progresiva. Davies y Harty (2013) usaron BIM junto con dispositivos móviles con el fin de permitirle a los trabajadores actualizar el estado de las actividades y acceder a la información del proyecto. Más adelante, en 2013 se planteó ConBIM-SM que les permitía a los contratistas controlar el progreso de la obra mediante dispositivos móviles, visualizar el avance del cronograma y gestionar el progreso en el sitio (Tserng et al., 2013). Finalmente, Lou, Xu y Wang (2017), gestionaron el control de la calidad de un proyecto al combinar BIM con AR; el sistema permitía a los trabajadores recopilar la información en tiempo real mediante el uso de equipos móviles.



*Figura 11.* Uso de dispositivos móviles para el control de proyectos. Adaptado de: (Davies & Harty, 2013).

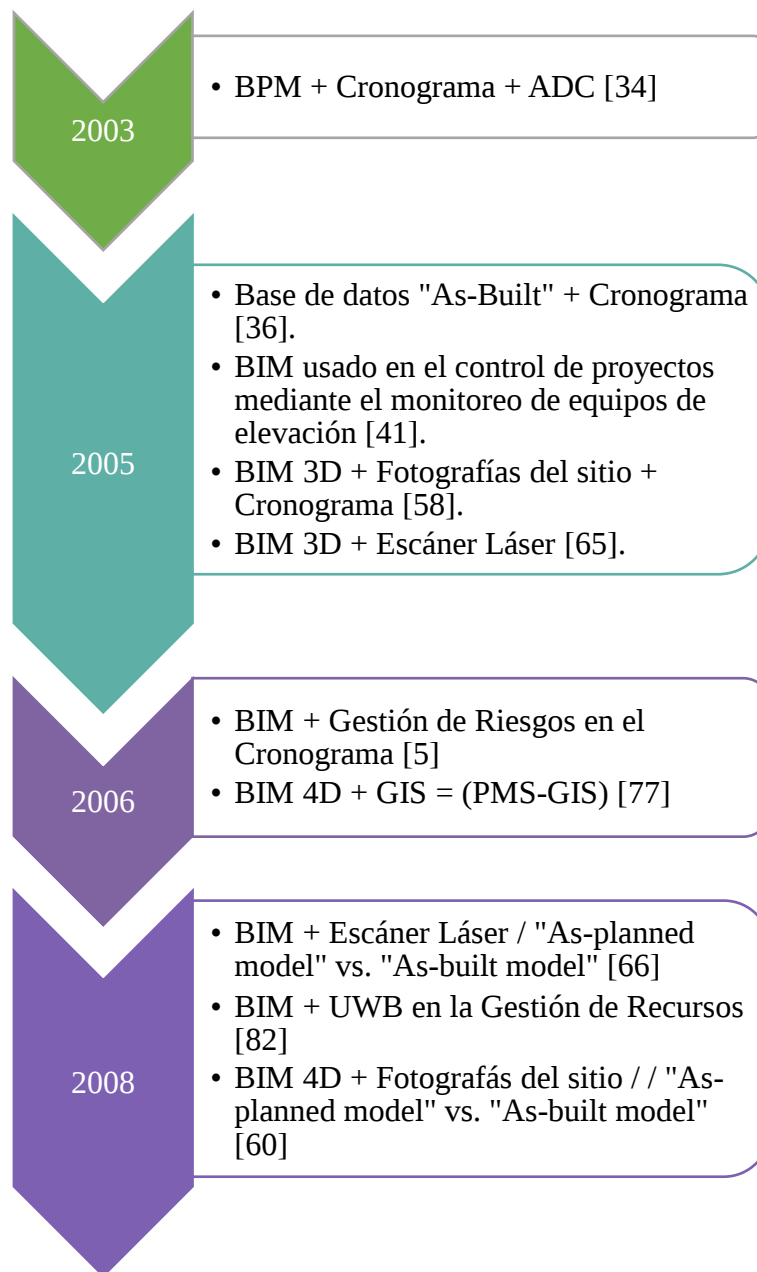
En el monitoreo de proyectos también se ha utilizado un sistema integrado de modelado BIM y detección y rango de luz (LiDAR) (J. Wang et al., 2015), para generar y procesar la información de calidad en el sitio en tiempo real para el control de calidad de la construcción (Figura 12). Igualmente, en 2018 se desarrolló un sistema móvil BIM-AR para recolectar y extraer la información del sitio (Chu, Matthews, & Love, 2018). El sistema fue comparado con un grupo de control que extraía la información manualmente; la investigación demostró que el sistema móvil es más eficiente a la hora de extraer los datos.

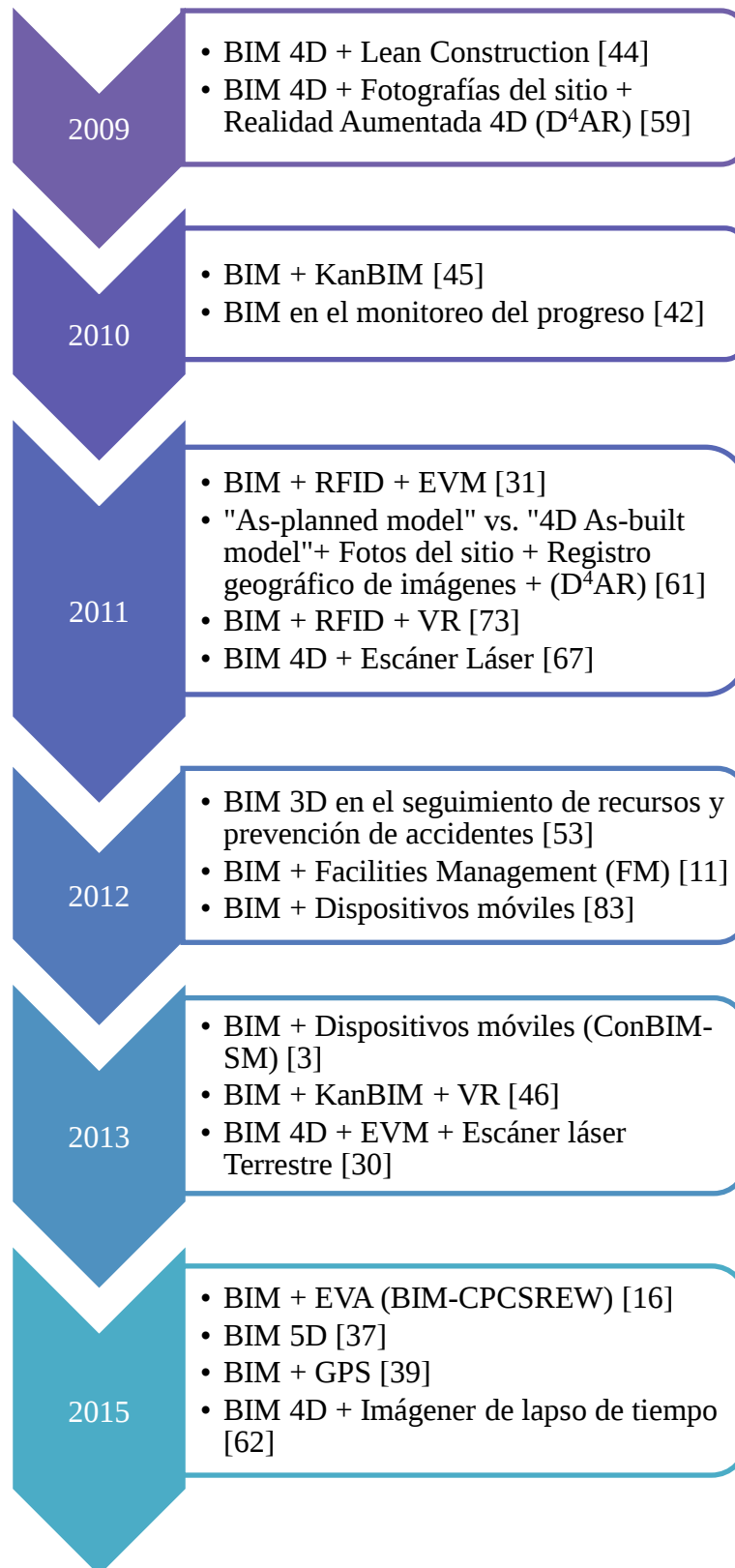
Por otra parte, otras tecnologías usadas en la gestión de proyectos son los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs, por sus siglas en ingles); su aplicación para abordar el monitoreo del progreso mediante imágenes y un modelo BIM 4D fue investigado por Lin, Han y Golparvar-Fard (2015), ellos sugirieron un modelo para la adquisición y análisis de imágenes de progreso. El sistema garantiza la integridad y veracidad tanto del modelado de lo construido como del progreso del trabajo.



*Figura 12.* (Izquierda). Modelo obtenido mediante LiDAR. (Derecha). Modelo planeado. Adaptado de: (J. Wang et al., 2015)

A continuación, se muestran los principales aportes y avances por años en el uso de BIM para el monitoreo y control de proyectos de construcción desde el año 2000 hasta el año 2018 mediante una línea del tiempo.





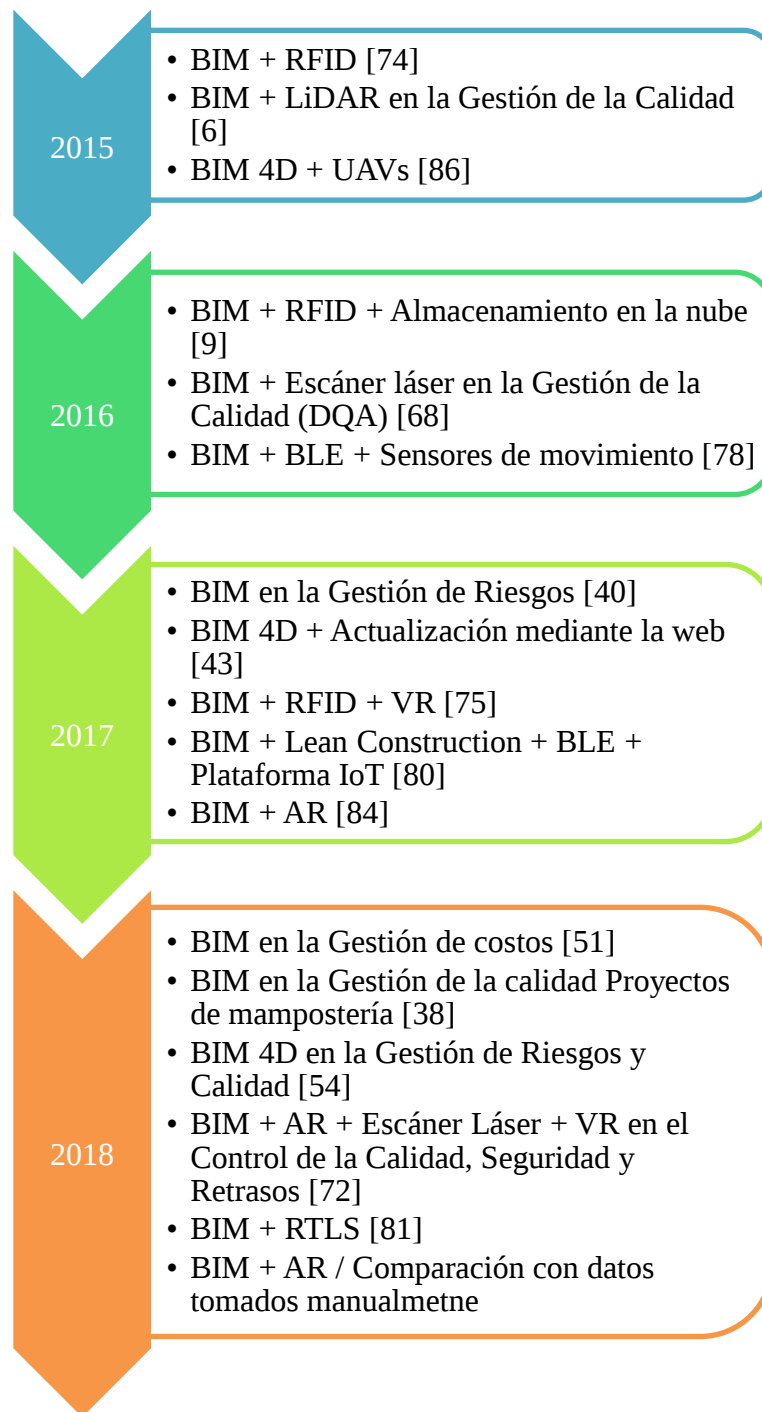


Figura 13. Línea del tiempo con los principales aportes encontrados en la revisión entre los años 2000 - 2018.

### 4.3 Ventajas y desventajas del uso de tecnologías en el control de proyectos

Dentro de las principales ventajas encontradas en esta investigación, puede mencionarse que el tener acceso a toda la información del proyecto gracias al modelo BIM facilita el control y seguimiento de la obra planeada (Goyal & Jha, 2017; X. Wang et al., 2014), adicionalmente la integración del modelo con el cronograma y los costos, ayuda a los integrantes del proyecto a estar más enterados de lo que sucede en el sitio, el progreso real del proyecto y tomar medidas en caso de ser necesarias, por ende facilita la comunicación entre los integrantes del proyecto, haciendo más rápido y eficiente el proceso (A. H. Memon, Rahman, Memon, & Azman, 2014). Asimismo es destacable la gran ventaja que posee BIM al poder ser integrada con otras tecnologías y métodos, como se presentó en esta revisión sistemática. El uso de tecnologías de captura de datos permite la automatización del ingreso y actualización de la información, esto ayuda a evitar los errores humanos (El-Omari & Moselhi, 2011) además de ahorrar tiempo en estas prácticas. Por otra parte, posee la ventaja de exponer errores y omisiones en el diseño antes de que la obra sea llevada a cabo (A. H. Memon et al., 2014).

El uso de modelos BIM puede hacer más eficiente el método del valor ganado puesto que proporciona las cantidades de obra (El-Omari & Moselhi, 2011; Marzouk & Hisham, 2014; Y. Turkan et al., 2013) que luego son utilizadas en el cálculo de los índices de rendimiento (Azimi et al., 2011; P.-H. Chen, 2008; El-Omari & Moselhi, 2011; Y. Turkan et al., 2013) y de los costos de cada elemento y recurso, teniendo la estimación de los gastos generados por el proyecto en el día a día.

A pesar de que BIM puede ser una herramienta que hace más exitosos los proyectos, Memon et. al. (2014) expone dentro de las desventajas pueden ser los riesgos involucrados en la uso y

adaptación a nuevas metodologías, la dificultad en su implementación y la percepción de los trabajadores hacia las nuevas tecnologías. Por otra parte, Memon et. al. (2014) afirma “se requiere una gran inversión inicial para actualizar el software, el hardware y la capacitación del personal”. De igual modo, los encargados de los proyectos de construcción no están dispuestos a realizar esta inversión a menos que perciban beneficios a corto plazo

## 5. Conclusiones

La presente revisión permitió identificar y caracterizar los principales avances en el uso de BIM como herramienta de monitoreo y control de proyectos entre los años 2000 y 2018. Dentro de ellos se encontró que en el uso integrado de BIM y la Gestión de Valor Ganado (EVM) la principal similitud es el uso de BIM como fuente de información sobre la obra, es decir, mediante el uso de tecnologías para captura de datos, se actualiza el modelo BIM, se obtienen las cantidades a la fecha y se calculan los índices del valor ganado para conocer el estado actual de la obra. Por el contrario, el campo de aplicación de estos métodos de control fue la principal diferencia encontrada en la revisión.

En cuanto a las tendencias tecnológicas identificadas durante la revisión, cabe resaltar el uso de tecnologías para capturas de datos que permitía la automatización, facilitaban el control y seguimiento de los diferentes proyectos y proveían mayor veracidad en el análisis del valor ganado y en la comparación entre lo planeado y el trabajo realizado. Por otra parte, la revisión también arrojó investigaciones aplicadas en las diferentes áreas propuestas por el PMI, lo que demuestra que BIM no solo puede ser aplicado en el control de costos y de cronograma sino también en el

monitoreo de la calidad, el progreso y además puede ser una herramienta efectiva en la prevención de accidentes y en la mitigación de riesgos.

Para el semillero de Modelado y Gestión de la Construcción del Grupo de Geomática, gestión y optimización de sistemas de la Universidad Industrial de Santander, a partir de la presente investigación se muestran las tendencias en el uso de BIM, los diferentes campos de aplicación y la eficiencia del uso de esta práctica herramienta en el control de proyectos de construcción. Asimismo, permitió conocer las implicaciones de su uso y las posibles causas que impiden que esta herramienta sea comúnmente usada en nuestro país, propiciando que en el futuro se puedan desarrollar investigaciones para dar solución a estas falencias. Adicionalmente, se muestra un panorama en cuanto a la efectividad en el control de proyectos de construcción con base en tecnologías emergentes de la información y la comunicación y, específicamente, en cuanto al monitoreo, seguimiento y control en proyectos de construcción apoyados en Building Information Modeling (Bohórquez Castellanos & Mariño Espinel, 2018).

Finalmente, es importante recalcar que el uso de BIM se debe dar desde las etapas tempranas del proyecto, puesto que como se observó en la revisión, generalmente el modelo BIM cuenta con los datos que se esperan sucedan durante el desarrollo del proyecto. Por lo tanto, no se debe pensar en BIM como algo más allá que una herramienta que permite hacer más eficientes los procesos, es erróneo considerar que solo con la implementación de BIM se va a conseguir el éxito del proyecto. El éxito de un proyecto se hace desde la planeación y el correcto uso de las herramientas de control.

### Referencias Bibliográficas

- Alizadehsalehi, S., & Yitmen, I. (2016). The Impact of Field Data Capturing Technologies on Automated Construction Project Progress Monitoring. *Procedia Engineering*, 161, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.504>
- Alzraiee, H. (2018). Integrating BIM and Earned Value Management System to Measure Construction Progress. *American Society of Civil Engineers*, 684–693.
- Anbari, F. T. (2003). Earned Value Project Management Method And Extensions, (December), 12–23.
- Aslani, P., Griffis, F. H., & Chiarelli, L. (2009). Building Information Model: The Role and Need of the Constructors. *Construction Research Congress. Building a Sustainable Future*, 467–476. [https://doi.org/10.1061/41020\(339\)60](https://doi.org/10.1061/41020(339)60)
- Azimi, R., Lee, S., Abourizk, S. M., & Alvanchi, A. (2011). A framework for an automated and integrated project monitoring and control system for steel fabrication projects. *Automation in Construction*, 20(1), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.07.001>
- Babič, N. Č., Podbreznik, P., & Rebolj, D. (2010). Integrating resource production and construction using BIM. *Automation in Construction*, 19(5), 539–543. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.005>
- Bargstädt, H. (2015). Challenges of BIM for Construction Site Operations. *Procedia Engineering*, 117(0), 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.123>
- Becerik-gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2012). Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), 431–442. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433)

- Benjaoran, V. (2009). A cost control system development : A collaborative approach for small and medium-sized contractors. *International Journal of Project Management*, 27(3), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.02.004>
- Bohórquez Castellanos, J. J., & Mariño Espinel, M. C. (2018). Monitoreo , seguimiento y control en proyectos de construcción apoyados en Building Information Modeling : Una revisión sistemática, 31–49.
- Bohórquez, J. J., Oviedo, N. S., & Mejía, G. (2018). Los Sobre costos en Proyectos de Infraestructura Vial : Una Revisión Actual / Cost Overruns in Transport Infrastructure Projects : A Current Review Cost Overruns in Transport Infrastructure Projects : A Current Review Los Sobre costos en Proyectos de Infrae, (February 2019).
- Bosché, F., & Guenet, E. (2014). Automating surface flatness control using terrestrial laser scanning and building information models. *Automation in Construction*, 44, 212–226. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.028>
- Bosché, F., Guillemet, A., Turkan, Y., Haas, C. T., & Haas, R. (2014). Tracking the Built Status of MEP Works: Assessing the Value of a Scan-vs-BIM System. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(4), 5014004–5014013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000343](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000343)
- Bosche, F., Haas, C. T., & Murray, P. (2008). Performance of Automated Project Progress Tracking With 3D Data Fusion. *Proc. of Congrès Annuel 2008 de La SCGC CSCE 2008 Annual Conference*, 1–10.
- Bueno, M., Bosché, F., González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J., & Arias, P. (2018). 4-Plane congruent sets for automatic registration of as-is 3D point clouds with 3D BIM models. *Automation in Construction*, 89(February 2017), 120–134. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.014>
- Chen, L., & Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, 46(November), 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009>
- Chen, P.-H. (2008). Integration of cost and schedule using extensive matrix method and

- spreadsheets. *Automation in Construction*, 18, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.04.009>
- Cheng, M.-Y., & Chang, N.-W. (2017). Radio Frequency Identification (RFID) Integrated with Building Information Model (BIM) for Open-Building Life Cycle Information Management. *28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2011)*, 485–490. <https://doi.org/10.22260/isarc2011/0088>
- Cherkina, V., Shushunova, N., & Zubkova, J. (2018). Application of BIM-technologies in tasks of quality management and labour safety. *MATEC Web of Conferences*, 251, 06004. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201825106004>
- Chu, M., Matthews, J., & Love, P. E. D. (2018). Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. *Automation in Construction*, 85(October 2017), 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.032>
- Costin, A. M., Teizer, J., & Schoner, B. (2015). RFID and bim-enabled worker location tracking to support real-time building protocol control and data visualization. *Journal of Information Technology in Construction*, 20(January), 495–517. Retrieved from <http://www.itcon.org/paper/2015/29>
- Czemplik, A. (2014). Application of earned value method to progress control of construction projects. *Procedia Engineering*, 91(TFoCE), 424–428. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.087>
- Dave, B., Kubler, S., Främling, K., & Koskela, L. (2016). Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. *Automation in Construction*, 61, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.009>
- Davies, R., & Harty, C. (2013). Implementing “site BIM”: A case study of ICT innovation on a large hospital project. *Automation in Construction*, 30, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.024>
- Dong, S., Li, H., & Yin, Q. (2018). Building information modeling in combination with real time location systems and sensors for safety performance enhancement. *Safety Science*, 102(October 2017), 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.011>

- El-Omari, S., & Moselhi, O. (2011). Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects. *Automation in Construction*, 20(6), 699–705. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.12.001>
- Elbeltagi, E., & Dawood, M. (2011). Integrated visualized time control system for repetitive construction projects. *Automation in Construction*, 20(7), 940–953. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.03.012>
- Fang, Y., Cho, Y. K., Zhang, S., & Perez, E. (2016). Case Study of BIM and Cloud-Enabled Real-Time RFID Indoor Localization for Construction Management Applications. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(7), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001125](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001125).
- Golparvar-fard, M., Peña-mora, F., & Savarese, S. (2009). Monitoring of Construction Performance Using Daily Progress Photograph Logs and 4D As-planned Models. *Computing in Civil Engineering*, 53–63.
- Golparvar-fard, M., Peña-Mora, F., & Savarese, S. (2014). Automated Progress Monitoring Using Unordered Daily Construction Photographs and IFC-Based Building Information Models, 1–20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000205](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000205).
- Golparvar-fard, M., & Savarese, S. (2011). Integrated Sequential As-Built and As-Planned Representation with D 4 AR Tools in Support of Decision-Making Tasks in the AEC / FM Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 37(12), 1099–1116. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000371](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000371).
- Goyal, M., & Jha, K. N. (2017). Development of a 4-D Model for Application in Construction Management. *Automation and Robotics in Construction & Proceedings of the 24th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. <https://doi.org/10.22260/isarc2007/0050>
- Gurevich, U., & Sacks, R. (2013). Examination of the effects of a KanBIM production control system on subcontractors' task selections in interior works. *Automation in Construction*, 37, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.003>
- Hajian, H., & Becerik-Gerber, B. (2009). A research outlook for real-time project information

management by integrating advanced field data acquisition systems and building information modeling. *Proceedings of the 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering*, 346, 83–94. [https://doi.org/10.1061/41052\(346\)9](https://doi.org/10.1061/41052(346)9)

Han, K. K., & Golparvar-Fard, M. (2015). Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs. *Automation in Construction*, 53, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.007>

Hashash, Y. M. A., Filho, J. N. O., Su, Y. Y., & Liu, L. Y. (2005). 3D Laser Scanning for Tracking Supported Excavation Construction. *Site Characterizations and Modeling*, (518), 1–10. Retrieved from [http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/40785\(164\)4](http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/40785(164)4)

Kim, C., Kim, B., & Kim, H. (2013). 4D CAD model updating using image processing-based construction progress monitoring. *Automation in Construction*, 35, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.03.005>

Kim, M. K., Wang, Q., Park, J. W., Cheng, J. C. P., Sohn, H., & Chang, C. C. (2016). Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM. *Automation in Construction*, 72, 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.035>

Li, J., Li, N., Peng, J., Cui, H., & Wu, Z. (2018). A review of currently applied building information modeling tools of constructions in China. *Journal of Cleaner Production* (Vol. 201). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.037>

Li, Y., & Liu, C. (2012). Integrating field data and 3D simulation for tower crane activity monitoring and alarming. *Automation in Construction*, 27, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.003>

Lin, J. J., Han, K. K., & Golparvar-Fard, M. (2015). A Framework for Model-Driven Acquisition and Analytics of Visual Data Using UAVs for Automated Construction Progress Monitoring. *Computing in Civil Engineerin*, 156–164.

Lipke, W. (2003). Schedule is Different. *The Measurable News*, 2.

- Liu, F. (2011). A New Conception of Engineering Cost Control of Large-scale Public Projects Under Value Management Conditions, *02*, 3–6. <https://doi.org/10.5503/J.ME.2011.02.001>
- Lou, J., Xu, J., & Wang, K. (2017). Study on Construction Quality Control of Urban Complex Project Based on BIM. *Procedia Engineering*, *174*, 668–676. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.215>
- Lu, W., Peng, Y., Shen, Q., Asce, M., & Li, H. (2013). Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks, (February), 195–203. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000585](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000585).
- Marzouk, M., & Hisham, M. (2014). Implementing earned value management using bridge information modeling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *18*(5), 1302–1313. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0455-9>
- Mejía, G., Leguizamo, N. E., & Reyes, L. (2017). Caracterización de los sobrecostos en proyectos de construcción de acuerdo con la localización geográfica : Una revisión sistemática entre 1985 y 2016. *Revista Actas Ingenieria*, 24–35.
- Memon, A. H., Rahman, I. A., Memon, I., & Azman, N. I. A. (2014). BIM in Malaysian Construction Industry: Status, Advantages, Barriers and Strategies to Enhance the Implementation Level, *8*(5), 606–614. <https://doi.org/10.19026/rjaset.8.1012>
- Memon, Z. A., Majid, M. Z. A., & Mustaffar, M. (2005). An Automatic Project Progress Monitoring Model by Integrating Auto CAD and Digital Photos, 1–13. [https://doi.org/10.1061/40794\(179\)151](https://doi.org/10.1061/40794(179)151)
- Mo, L. (2018). The application analysis of BIM technology in whole-process of engineering cost management. *Proceedings - 2018 International Conference on Engineering Simulation and Intelligent Control, ESAIC 2018*, 404–406. <https://doi.org/10.1109/ESAIC.2018.00102>
- Moslemi, L., Shadrokh, S., & Salehipour, A. (2011). A fuzzy approach for the earned value management. *J.PMA*, *29*(6), 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.012>
- Navon, R., & Kolton, O. (2006). Model for Automated Monitoring of Fall Hazards in Building

- Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), 733–740. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:7\(733\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:7(733))
- Novotn, P., & Watson, T. (1992). Modern Management Systems. *The Business Roundtable*, 1–7.
- Oliveros, A. V. O., & Fayek, A. R. (2004). Fuzzy Logic Approach for Activity Delay Analysis and Schedule Updating. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(1), 42–51. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2005\)131:1\(42\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2005)131:1(42))
- Omar, T., & Nehdi, M. L. (2016). Data acquisition technologies for construction progress tracking. *Automation in Construction*, 70, 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.016>
- Park, J., Cho, Y. K., & Kim, K. (2017). Field Construction Management Application through Mobile BIM and Location Tracking Technology. *Proceedings of the 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, (Isarc), 3–8. <https://doi.org/10.22260/isarc2016/0011>
- Park, Jaehyun, & Cai, H. (2017a). Framework of Dynamic Daily 4D BIM for Tracking Construction Progress through a Web Environment, (Russell 1993), 193–201. <https://doi.org/10.1061/9780784480823.024>
- Park, Jaehyun, & Cai, H. (2017b). WBS-based dynamic multi-dimensional BIM database for total construction as-built documentation. *Automation in Construction*, 77, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.021>
- Park, JeeWoong, Cho, Y. K., & Ahn, C. R. (2016). A Wireless Tracking System Integrated with BIM for Indoor Construction Applications, (Fiatech 2012), 2139–2148.
- Perera, A. A. D. A. J., & Imriyas, K. (2004). An integrated construction project cost information system using MS Access™ and MS Project™. *Construction Management and Economics*, 22(2), 203–211. <https://doi.org/10.1080/0144619042000201402>
- Poku, S. E., & Arditi, D. (2006). Construction Scheduling and Progress Control Using Geographical Information Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(5), 351–360. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3801\(2006\)20:5\(351\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(2006)20:5(351))

Pressoir, S. (1992). Are You Contracting for Success ? *Construction*, 1–8.

Project Management Institute. (2013). *Guia de los fundamentos para la direccion de proyectos (Guia del PMBOK)*. *Guia de los Fundamentos para la direccion de Proyectos* (5th ed.). Newtown Square, Pensilvania: Project Management Institute, Inc. Retrieved from [www.pmi.org](http://www.pmi.org)

Quentin, W., & Joel, M. (1994). The essence of evolution of earned value.

Rebolj, D., Babic, N. C., Magdic, A., Podbreznik, P., & Pšunder, M. (2008). Automated construction activity monitoring system. *Advanced Engineering Informatics*, 22(4), 493–503. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2008.06.002>

Sacks, R., Navon, R., Brodetskaia, I., & Shapira, A. (2005). Feasibility of Automated Monitoring of Lifting Equipment in Support of Project Control. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(5), 604–614. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2005\)131:5\(604\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2005)131:5(604))

Sacks, R., Navon, R., & Goldschmidt, E. (2003). Building Project Model Support for Automated Labor Monitoring. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 17(1), 19–27. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3801\(2003\)17:1\(19\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(2003)17:1(19))

Sacks, R., Treckmann, ; M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering*, 135(12), 1307–1315. <https://doi.org/10.1061/ASCECO.1943-7862.0000102>

Sacks, Rafael, Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, 19(5), 641–655. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.010>

Sánchez-meca, J. (2010). Cómo realizar una revisión sistemática y un meta-análisis, 38, 53–63.

Sharmanov, V. V., Simankina, T. L., & Mamaev, A. E. (2017). BIM in the assessment of labor protection. *Magazine of Civil Engineering*, 69(1), 77–88. <https://doi.org/10.18720/MCE.69.7>

- Sun, C., Man, Q., & Wang, Y. (2015). Study on BIM-based construction project cost and schedule risk early warning. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 29(2), 469–477. <https://doi.org/10.3233/IFS-141178>
- Teizer, J., Venugopal, M., & Walia, A. (2008). Ultrawideband for Automated Real-Time Three-Dimensional Location Sensing for Workforce, Equipment, and Material Positioning and Tracking. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2081(1), 56–64. <https://doi.org/10.3141/2081-06>
- Trani, M. L., Cassano, M., Todaro, D., & Bossi, B. (2015). BIM Level of Detail for Construction Site Design. *Procedia Engineering*, 123, 581–589. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.111>
- Tserng, H.-P., Ho, S.-P., & Jan, S.-H. (2013). Developing BIM-assisted as-built schedule management system for general contractors. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(1), 47–58. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.851112>
- Turkan, Y., Bosché, F., Haas, C., & Haas, R. (2013). Toward Automated Earned Value Tracking Using 3D Imaging Tools. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(4), 423–433. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000629](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000629).
- Turkan, Yelda, Bosche, F., Haas, C. T., & Haas, R. (2011). Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies. *Automation in Construction*, 22, 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.10.003>
- Valderrama, F. G., & Guadalupe Garcia, R. (2010). Dos modelos de aplicación del método del valor ganado (EVM) para el sector de la construcción. *XIV International Congress on Project Engineering*, 58–73.
- Vandevoorde, S., & Vanhoucke, M. (2006). PROJECT A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics, 24, 289–302. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.10.004>
- von Heyl, J., & Teizer, J. (2017). Lean Production Controlling and Tracking Using Digital Methods. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (July), 127–134. <https://doi.org/10.24928/2017/0238>

- Wang, J., Sun, W., Shou, W., Wang, X., Wu, C., Chong, H. Y., ... Sun, C. (2015). Integrating BIM and LiDAR for Real-Time Construction Quality Control. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 79(3–4), 417–432. <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0116-8>
- Wang, X., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y., & Zhou, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling : Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.003>
- Xie, H., Shi, W., & Issa, R. R. A. (2015). Using rfid and real-time virtual reality simulation for optimization in steel construction, (September).
- Yu, Z., Peng, H., Zeng, X., Sofi, M., Xing, H., & Zhou, Z. (2018). Smarter construction site management using the latest information technology. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, 172(2), 89–95. <https://doi.org/10.1680/jcien.18.00030>
- Zhang, S, Teizer, J., & Pradhananga, N. (2015). Global positioning system data to model and visualize workspace density in construction safety planning. *32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining: Connected to the Future, ISARC 2015*, (Vdc). Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84962799508&partnerID=40&md5=2fa00ce279fcdb9b312b6f48c1bbc96d>
- Zhang, Sijie, Teizer, J., Pradhananga, N., & Eastman, C. M. (2015). Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. *Automation in Construction*, 60, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.009>
- Zhang, Y., Yang, L., & Cai, P. (2018). Research on masonry structure layout design based on BIM technology. *International Conference on Advanced Mechatronic Systems, ICAMechS, 2018-Augus*, 103–110. <https://doi.org/10.1109/ICAMechS.2018.8507116>
- Zhou, Y., Ding, L., Wang, X., Truijens, M., & Luo, H. (2014). Applicability of 4D modeling for resource allocation in mega liquefied natural gas plant construction. *Automation in Construction*, 50(C), 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.016>