

BIM PARA EL MANTENIMIENTO: MÁS PLANEACIÓN MENOS SOBRECOSTOS

PRESENTADO: Diciembre 2018
REVISADO: Enero 2019
PUBLICADO: Marzo 2019
EDITORES: Francisco Villena y Carlos Lucena

Alix Albarello Forero
Universidad De Los Andes, Colombia.
Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental.
Email: a.albarello10@uniandes.edu.co

Laura Andrea Gutiérrez-Bucheli
Universidad De Los Andes, Colombia.
Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental.
Email: la.gutierrez725@uniandes.edu.co

José Luis Ponz-Tienda
Universidad De Los Andes, Colombia.
Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental.
Email: jl.ponz@uniandes.edu.co

Resumen: BIM promete ser útil durante todo el ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, su aplicación se limita a las fases de diseño, pre-construcción y en algunos casos, construcción dejando de lado la fase de post-construcción. Esta última, encierra las actividades de operación y mantenimiento, en las cuales se da la mayor inversión debido a la constante implementación de actividades reactivas y falta de planeación de las preventivas. A partir de esto, en la industria AEC se ha generado una necesidad financiera para optimizar los recursos mediante el uso de herramientas BIM. Consecuentemente, este estudio busca determinar cómo se ven beneficiadas las actividades del FM a partir de la implementación de BIM por medio del estudio del estado del arte, generando así una hoja de ruta que determine las bases para aplicar BIM a la etapa de operación de mantenimiento.

Palabras Claves: *BIM, mantenimiento, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, Facility Management (FM)*

Derechos de autor: Los autores conservan los derechos de autor de sus obras. Los artículos están licenciados bajo la licencia BY-NC-ND (Creative Commons Attribution 4.0 International Public License), que otorga derechos de acceso abierto a la sociedad. Específicamente, con la licencia BY-NC-ND no se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

BIM FOR MAINTENANCE: MORE PLANNING LESS COST OVERRUNS

Abstract: One of the BIM promises is his utility during the life cycle of any project. However, his application is limited to the phases of design, pre-construction, and in some cases construction, leaving behind the phase of post-construction. This last one, encloses the operation and maintenance actives where the biggest inversion has to be made due the constant implementation of reactive maintenance and the lack of planning of preventive



maintenance. According to this, the AEC industry has been created an economic reason for optimizing costs using BIM tools. Consequently, this research is looking seeks to determine how the activities of the FM benefit from the implementation of BIM through the study of the state of the art, thus generating a roadmap that determines the bases to apply BIM to the maintenance operation stage.

Keywords: *BIM, maintenance, preventive maintenance, corrective maintenance, Facility Management (FM)*

Copyright: © 2018 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. INTRODUCCIÓN

La vida útil de un proyecto en la industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) está compuesto por diseño, pre-construcción, construcción y post- construcción (Azhar, Khalfan & Maqsood, 2015). Esta última hace referencia a la fase operativa, la cual comienza desde el instante en el que se empieza a hacer uso constante de esta (Gómez Hoyos, 2013) y abarca alrededor del 85% del ciclo (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014), por lo que se produce la mayor acumulación y elevación de costos en la historia de la facilidad. Esto se debe a la falta de planeación en esta etapa y a la recurrencia en el mantenimiento correctivo o reactivo,

BIM, acrónimo para Building Information Modeling, corresponde a un conjunto de herramientas digitales (Latiffi, Mohd, Kasim, & Fathi, 2013) y metodologías de trabajo (Coloma Picó, 2008) que están revolucionando la forma en la que se diseñan, analizan, construyen y gerencian los proyectos (Hardin, 2009) en la industria AEC. Su implementación ha corroborado su utilidad para la reducción de costos durante el ciclo de vida del proyecto (Talebi, 2014), extendiéndose teóricamente a todo el ciclo de vida de la facilidad. Sin embargo, actualmente los esfuerzos BIM se concentran en fases de diseño y construcción, dejando a un lado las fases de mantenimiento y operación.

Una instalación mal conservada está condenada al fracaso (Quintero, Solano, & Pandales, 2014) por lo se ha generado una necesidad para gestión eficiente durante la fase operativa (Kelly, Serginson, Lockley, Dawood & Kassem, 2013) haciendo uso de BIM aplicado al Facility Management (FM), el cual se define como un campo multidisciplinario que se asegura de la funcionalidad de una facilidad involucrando personas, lugares, procesos y tecnologías (Roper & Payant, 2014). Es importante resaltar que hoy en día existen pocos estudios sobre los usos de BIM para el mantenimiento (Korpela & Miettinen, 2013) y hay una ausencia de casos reales de BIM aplicado al FM (Becerik, Jazizadeh, Li & Calis, 2011) que identifiquen y propongan metodologías.

En consecuencia, el presente estudio busca identificar los beneficios que ofrece BIM al mantenimiento a partir de casos de estudio en países como el Reino Unido, Australia y Chile. Asimismo, se relacionaran estos beneficios con el área del FM al que afectan positivamente. Finalmente, plantea una hoja de ruta BIM para el mantenimiento, unificando las metodologías de los casos de estudio, con el fin de promover la implementación de BIM para la gestión de facilidades e investigar los demás campos del FM que se pueden beneficiar a partir de este.



Por lo tanto, se comienza definiendo mantenimiento y sus dos ramas (preventivo y correctivo) para entender la importancia de estos mismos en la disminución y planeación de costos en la fase operativa. Posteriormente, se hace un estado del arte mediante una revisión bibliográfica de los beneficios y conclusiones de BIM para FM. Luego, se propondrá una hoja de ruta para implementar BIM teniendo en cuenta si es un proyecto en fase operativa o posterior a esta. Por último, se plantearán las conclusiones.

2. MANTENIMIENTO

El mantenimiento se define como el conjunto de cuidados necesarios para que una edificación, industria, instalación, etc., puedan seguir funcionando (RAE, 2014). Por lo tanto, el mantenimiento en la industria AEC busca mitigar el deterioro que una estructura comienza a presentar desde el instante en el que se empieza a hacer uso constante de ella (Gomez Hoyos, 2013). Sin embargo, debido a la falta de planificación en esta fase, el mantenimiento solo realiza actividades correctivas donde se reemplaza o arregla un elemento que ya sufrió una falla (Motawa & Almarshad, 2013), presentándose así la mayor acumulación de costos en el ciclo de vida del proyecto. Con el fin de evitar esta situación se debe realizar un plan de mantenimiento preventivo, el cual actúa antes de que un elemento colapse (Motawa & Almarshad, 2013).

2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Se considera mantenimiento preventivo a las actividades de revisión de elementos que prevengan reparaciones posteriores (Parejo & Sánchez, 2005). Al hacer uso de este, el usuario puede incrementar la vida útil del proyecto, reducir los costos, conocer el estado real de las instalaciones y reducir tiempos muertos. Este último establece que mediante el mantenimiento preventivo se asegura la disponibilidad y funcionamiento de la instalación en todo momento (Olivares Sánchez, 2015).

La importancia de este tipo de mantenimiento se ve reflejada en las ventajas del mismo, mencionadas anteriormente. Sin embargo, se deben seguir una serie de pasos que faciliten su ejecución y replantación en algunos casos (Figura 1). Inicialmente se debe haber programado el mantenimiento o revisión periódica de los elementos. Una vez se ha establecido esto, el usuario debe determinar qué actividades se van a realizar en el momento de ejecución (Olivares Sánchez, 2015). Finalmente, después de la ejecución, los elementos han subsanado cualquier deficiencia y se ha completado la actividad de mantenimiento preventivo hasta la próxima planeación.

2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo corresponde a las actividades de diagnóstico y reparación de un elemento cuya vida útil ha terminado, es decir que corrigen problemas evidentes (Arencibia Fernández, 2007). También se puede definir como el que actúa con el fin de corregir o remplazar un elemento cuando este ya ha fallado (Olivares Sánchez, 2015). El uso frecuente de este, genera sobre costos durante la fase de mantenimiento y operación de una facilidad. De hecho, los costos asociados a las actividades de mantenimiento correctivo son hasta 125 veces mayores que los costos de las mismas en mantenimiento preventivo (Arencibia Fernández, 2007). Esto se debe a que entre más se posponga una inversión, mayor va a ser el costo de esta (Sitter, 1984).

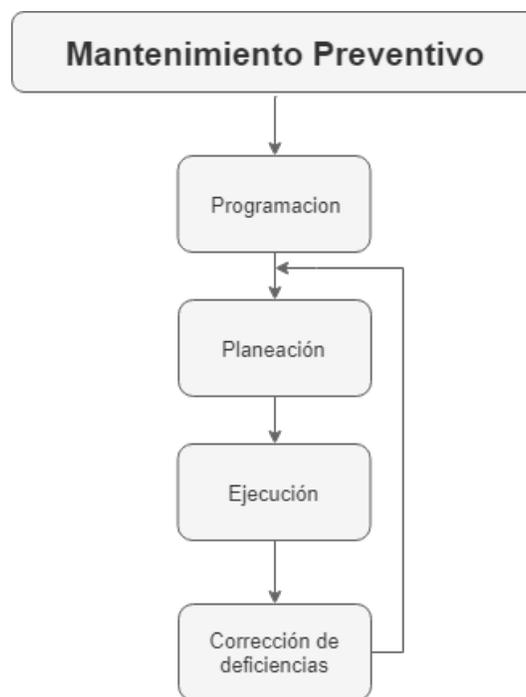


Figura 1. Ciclo mantenimiento preventivo (Fuente: Propia)

Este mantenimiento tiene un flujo de actividades menos complejo que el preventivo (Figura 2). De hecho, el primer paso para implementarlo es la falla abrupta de un elemento y luego identificarlo. A partir del daño se hace una evaluación que posteriormente lleva a la reparación. Allí el ciclo puede empezar de nuevo, si el elemento falla en el futuro, o terminar (Olivares Sánchez, 2015).

Ambos mantenimientos son claves para disminuir la velocidad en la que las estructuras se deterioran por agentes externos (Quintero, Solano, & Pandales, 2014), puesto que en todo momento se debe asegurar la calidad de la edificación teniendo en cuenta sus especificaciones de diseño (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera & Crespo, 2013). Por lo tanto, el 60% de los costos de la vida útil

del proyecto corresponden a la fase de mantenimiento y operación (Akcamete, Akinci & Garrett, 2010). Esto se debe a las actividades ineficientes, donde no se identifica el verdadero problema, al pago por la corrección del mismo en repetidas ocasiones (Akcamete, Akinci & Garrett, 2010) y a que los inversionista optan por ahorrar en el CAPEX, llevando a aumentar significativamente el OPEX del proyecto (Estache, 2010).

3. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

BIM se define como una metodología de trabajo que integra e involucra tecnologías digitales apoyándose sobre dos pilares: la comunicación y la colaboración (Azhar, Khalfan & Maqsood, 2015). De hecho, se afirma que esta metodología introduce un nuevo paradigma a la industria AEC, el cual fomenta la participación de todos los interesados en el proyecto (arquitectos, diseñadores, contratistas e inversionistas) (Azhar, 2011). Consecuentemente, BIM desarrolla un mismo modelo, conocido como Building Information Model (Associated General Contractors of America, 2005), que abarca todos los componentes arquitectónicos, estructurales, eléctricos, hidráulicos, entre otros.



Figura 2. Ciclo mantenimiento correctivo (Fuente: Propia)

Frente a los modelos tridimensionales CAD, los modelos BIM permiten la creación de objetos que contengan características paramétricas, cuantitativas y cualitativas (Muñoz, Alvarado, Arcas & Aravena, 2017) como método constructivo, etapa de construcción, material, proveedor, entre otros. Del mismo modo, estos modelos permite la generación de diferentes vistas a partir de un mismo

modelo, facilita la revisión de acuerdo a la normativa, permite la estimación de costos, planeación de la construcción e identificación de conflictos o interferencias (Azhar, 2011). Cabe aclarar que la metodología BIM se implementa a partir de los softwares, sin embargo no se limita solo a estos ni al modelo tridimensional. De hecho, BIM va más allá, llegando hasta una séptima dimensión que involucra diferentes características y procesos.

BIM 3D corresponde a la creación del modelo tridimensional. La cuarta dimensión es el modelo anterior con tiempos y tareas de construcción programadas incorporadas (Gascueña, Fernández & Sáez-Pérez, 2018), permitiendo al usuarios hacer una simulación visual de la secuencia de procesos constructivos (Ramos, Rugel, & Aguilar, 2016). La quinta dimensión (BIM 5D) involucra los costos de construcción y facilita el caculo de cantidad de obras (Franco, Mahdi & Abaza, 2015). La sexta dimensión (BIM 6D) está ligada la sostenibilidad ambiental del proyecto, facilitando así el proceso de análisis para una certificación. Finalmente, la séptima dimensión (BIM 7D) corresponde al *facility management* y las actividades en la fase de post construcción (Ramos, Rugel, & Aguilar, 2016). Cabe aclarar, que en la actualidad se está empezando a hablar de BIM 8D, 9D e incluso 10D involucrando nueva información (Pellicer De García, 2016).

Respecto a BIM 7D se evidencia una falta de casos de estudio que evidencien la aplicación de BIM a las actividades de mantenimiento y operación. De hecho, el BIMForum 2018 no ha tratado esta rama de la metodología mas halla de la construcción de modelos As-build y la modelación de diferentes escenarios durante todo el ciclo de vida del proyecto.

4. ESTADO DEL ARTE

La fase operativa de una instalación es el principal contribuyente a los costos del proyecto durante todo su ciclo de vida, por lo que se ha generado una necesidad económica para la gestión eficiente de esta (Kelly, Serginson, Lockley, Dawood & Kassem, 2013). El Facility Management (FM) es la rama de gestión que se encarga de esta fase y se define como un campo multidisciplinario que se asegura de la funcionalidad de una facilidad involucrando personas, lugares, procesos y tecnologías (Roper & Payant, 2014). Por lo tanto, la integración de tecnologías BIM a la fase de mantenimiento contribuye al FM. Es importante resaltar que hoy en día existen pocos estudios sobre los usos de BIM para el mantenimiento (Korpela & Miettinen, 2013) y hay una ausencia de casos reales de BIM aplicado al FM (Becerik, Jazizadeh, Li & Calis, 2011). Sin embargo, países como **Egipto** (Marzouk & Abdel Aty, 2012), **Finlandia** (Korpela & Miettinen, 2013), **Corea** (Lee & Yu, 2015), **Chile** (Muñoz, Alvarado, Arcas & Aravena, 2017), **Reino Unido** (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012) y **Australia** (CRC, 2007) han estudiado las posibles aplicaciones de para las fases de operación y mantenimiento.

Para este estudio se analizaran los casos presentados en el Reino Unido, Australia y Chile únicamente, tomándolos como referencia para la forma en la que se debe implementar BIM en la fase operativa. Consecutivamente, se mencionaran casos en el contexto Colombiano.

Actualmente, el Reino Unido es considerado como uno de los países pioneros y más ambiciosos en cuanto a la implementación de BIM (Smith, 2014). De hecho, a partir del 2016 el gobierno demanda el uso de BIM nivel 2 en todos los proyectos financiados con fondos públicos (Carbonari, Stravoravdis,

& Gausden, 2018), incentivando así que más del 50% de los proyectos usen BIM en las fases de diseño y pre construcción (Eadie, R., Browne, Odeyinka, McKeown & McNiff, 2013) Sin embargo, solo el 8.82% de los proyectos hacen uso continuo de este durante las fases de operación y mantenimiento (Eadie, R., Browne, Odeyinka, McKeown & McNiff, 2013) debido a que se desconoce su utilidad. Esto se evidencia en el caso de estudio MediaCity UK, donde los gerentes de facilidades (facility managers) afirman que la utilidad de BIM debe demostrarse antes de reemplazar los sistemas tradicionales, como el Computer Aided FM (CAFM) (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012).

MediaCity UK es un territorio de uso mixto ubicado en las orillas del canal de navegación de Manchester. Entre los propietarios de la facilidad, se encuentra la Universidad de Salford, quien realiza el estudio sobre la implementación de BIM para FM en esta sede con el fin de determinar como la metodología contribuye al mantenimiento y cambio de espacios. Esto último, hace referencia a que el uso de un salón puede variar a lo largo de los años, por lo tanto, se debe contemplar el cambio de inmobiliarios y transporte de equipos (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012).

El estudio concluye, exclusivamente en relación al mantenimiento, que BIM en la fase operativa facilita procesos como: la identificación de un elemento que ha fallado y el grupo de elementos adyacente que posiblemente se verán afectados; el almacenamiento de información histórica sobre el mantenimiento de un elemento; la toma de decisiones en cuanto de reemplazar o mantener el mismo (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012). No obstante, también afirma que la efectividad de esto está directamente ligada a la actualización del modelo durante toda la vida útil y la calidad de información que este contenga (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012).

Por otro lado, en Australia la implementación de BIM no se ha extendido por toda la industria AEC y no hay esfuerzos por parte del estado para la implementación de este en ningún proyecto (Smith, 2014), esto se debe principalmente a que su uso y comprensión son limitados (Gu & London, 2010). Pese a esto, entidades gubernamentales, universidades e industrias australianas crearon el grupo Cooperative Research Centre (CRC) para la innovación en la construcción. Este grupo se encargó de investigar aplicaciones de BIM para el FM, usando como caso de estudio al Sydney Opera House (CRC, 2007). Uno de los principales retos de este proyecto, era la representación arquitectónica debido a su alta complejidad. Sin embargo, BIM da una representación geométrica acertada (CRC, 2007).

A partir del caso, el grupo CRC concluye que BIM permite analizar y controlar los costos de todo el ciclo de vida de la facilidad; brindar un mejor servicio al cliente por medio de la accesibilidad a todos los modelos; tomar decisiones basadas en datos visuales, ya que permite entender las relaciones entre elementos caducados; almacenar el historial de mantenimiento de un elemento; y acceder a bases de datos, las cuales contienen proveedores y responsables de las actividades (CRC, 2007).

Otro caso donde se evidencia el uso de BIM es Chile. En dicho país, la implementación este empezó en los años 90 por parte de grupos privados e iniciativas aisladas (Lazo & Ogueta, 2017). Fue hasta el 2016 que el sector público empezó a jugar un rol activo en cuanto al uso de esta metodología, por lo que entidades gubernamentales estandarizaron los requisitos BIM para la industria de la construcción (Lazo & Ogueta, 2017). Con el fin de reforzar esta intervención, se han estudiado las ventajas, retos y metas de BIM durante toda la vida útil de un proyecto, incluyendo las fases de mantenimiento y operación.

Consecuentemente, se encontró un caso de estudio que aplica BIM para el mantenimiento de infraestructura educacional. Específicamente, para un colegio de la Sociedad de Instrucción Primaria de Santiago (SIP) (Ibáñez Chicharro, 2015). El estudio parte de que la institución cuenta con recursos limitados y el mantenimiento actual es exclusivamente correctivo (Ibáñez Chicharro, 2015), resaltando así la importancia de implementar BIM para actividades preventivas que permitan planear y reducir los costos. Mediante el levantamiento de un modelo del colegio y diferentes acuerdos con contratistas y encargados del mantenimiento, el estudio concluye que el uso de BIM para las actividades de mantenimiento permite disminuir los costos en un 43% (Ibáñez Chicharro, 2015) y mejora la ejecución de los trabajos en un 34%, evitando así mantenimientos ineficientes o innecesarios (Ibáñez Chicharro, 2015). Esto último, está ligado a la comunicación entre contratista y contratante, ya que mediante BIM se puede identificar claramente el elemento a mantener y no se le permite al contratista hacer actividades no asignadas (Ibáñez Chicharro, 2015).

Por otro lado, en Colombia el 94% de la industria AEC considera que en algún momento BIM será una práctica generalizada (Botero, Isaza Pulido & Vásquez Hernández, 2015). Sin embargo, para el 2015 solo el 18% de los proyectos lo usaban en alguna de las fases (Botero, Isaza Pulido & Vásquez Hernández, 2015). Esto se debe a los costos del cambio de tecnologías y la falta de claridad sobre las ventajas que ofrece la metodología (Botero, Isaza Pulido & Vásquez Hernández, 2015). Frente a esto, se propone la preparación de estudiantes que cursen carreras relacionadas a la construcción, familiarizándolos con BIM (Salazar Álzate, 2017).

La implantación de BIM en Colombia es modesta y se da por parte de grupos privado, generalmente aplicado a proyectos inmobiliarios. Actualmente, no hay esfuerzos por parte del estado para la estandarización de este. Por lo tanto, el país no cuenta con casos de estudio que evalúen ventajas, metas y objetivos para implementar BIM en la fase operativa de una facilidad.

5. METODOLOGÍA

El presente estudio tiene como objetivo identificar los beneficios de BIM y posteriormente dar una hoja de ruta para la implementación del mismo.

Mediante un estudio del estado del arte se pudo identificar algunos beneficios que BIM ofrece para actividades de mantenimiento. A partir de estos se determinó que cada uno está relacionado con un área del FM. Por lo cual, se procede a agruparlos de acuerdo a esta.

Seguidamente, la hoja de ruta BIM para el mantenimiento se realizó a partir del estudio del estado del arte. Teniendo en cuenta las metodologías implementadas en cada caso, se identificaron los eslabones claves para implementar BIM exitosamente a la fase operativa de una facilidad.

6. BIM MANTENIMIENTO

En los casos de estudio presentados anteriormente se comprobó que el uso de BIM para actividades de FM ofrece diferentes beneficios. Estos se presentan en la Tabla 1, donde cada beneficio se asocia

a uno o más casos que lo identifica. Posteriormente, se identifican tres campos donde estos beneficios surten su principal efecto.

De acuerdo a esto, las ventajas de BIM sobre las prácticas actuales se pueden clasificar de acuerdo a campo de aplicación que en este caso corresponden a la comunicación, los costos y la coordinación.

- Comunicación:

No es desconocido que BIM hace que el intercambio de información sea efectivo y rápido, ya que todos los interesados pueden acceder a los datos continuamente actualizados (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012). Esta utilidad puede aplicarse a las fases finales de un proyecto, permitiendo que se coordinen diferentes actividades entre departamentos (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012) y evitando afectaciones a la funcionalidad de la estructura.

- Información:

Anteriormente se ha mencionado que para implementar BIM al FM es fundamental contar con un modelo de la facilidad actualizado, conocido en la industria como un modelo As-build, que contenga información valiosa para el mantenimiento. Estos modelos facilitan el análisis visual de los componentes y el acceso a datos como el historial de mantenimiento y características técnicas de los componentes.

- Costos:

BIM, mediante simulaciones, permite controlar los costos durante toda la vida útil del proyecto dando lugar a que se puedan programar la inversión en mantenimiento (Ibáñez Chicharro, 2015). La planificación de las actividades evita que estas se vuelvan críticas y urgentes, por lo que no se requiere pagar el costo de oportunidad del contratista (Ibáñez Chicharro, 2015) y se genera un ahorro. Es importante mencionar que este campo está directamente relacionado con los beneficios de los demás, ya que una comunicación más efectiva y una información más acertada, agiliza los procesos, traduciéndose en un impacto financiero positivo.

Cabe aclarar, que hay más campos de aplicación de BIM para el FM como análisis energético, gerencia de emergencias, entrenamiento de personal, entre otros (Becerik, Jazizadeh, Li & Calis, 2011). Sin embargo, los presentados anteriormente fueron identificados a partir del estudio del estado del arte.

Con el fin de poder obtener estos beneficios en los proyectos es importante establecer como se debe implementar BIM, diferenciando si la facilidad se encuentra ya en fase operativa o antes. Esta diferenciación es relevante, ya que generalmente, los proyectos ya operativos no cuentan con un modelo BIM por lo que el procedimiento de implementación empieza a partir del primer paso. En cuanto a los proyectos en construcción, usualmente se posee del modelo por lo que el procedimiento comienza a partir del cuarto paso, donde se profundiza para el uso como soporte a las actividades de mantenimiento.

Beneficio de BIM para FM	Caso de Estudio		
	MediaCity UK	Sydney Opera House	Colegio SIP
	United Kingdom	Australia	Chile
Análisis visual de los elementos	x		
Bases de datos con información técnica (Proveedores, referencia, modelo, etc.)	x		x
Control de los costos durante todo el ciclo de vida		x	
Coordinación entre diferentes departamentos			x
Historial de mantenimiento de elementos	x	x	
Intercambio de información más rápido y efectivo		x	x
Planeación de inversión en la etapa operativa	x		
Reducción de costos	x		x
Representación geométrica adecuada de las partes del edificio	x	x	

Tabla 1. Beneficios de BIM según casos de estudios (Fuente: Propia)

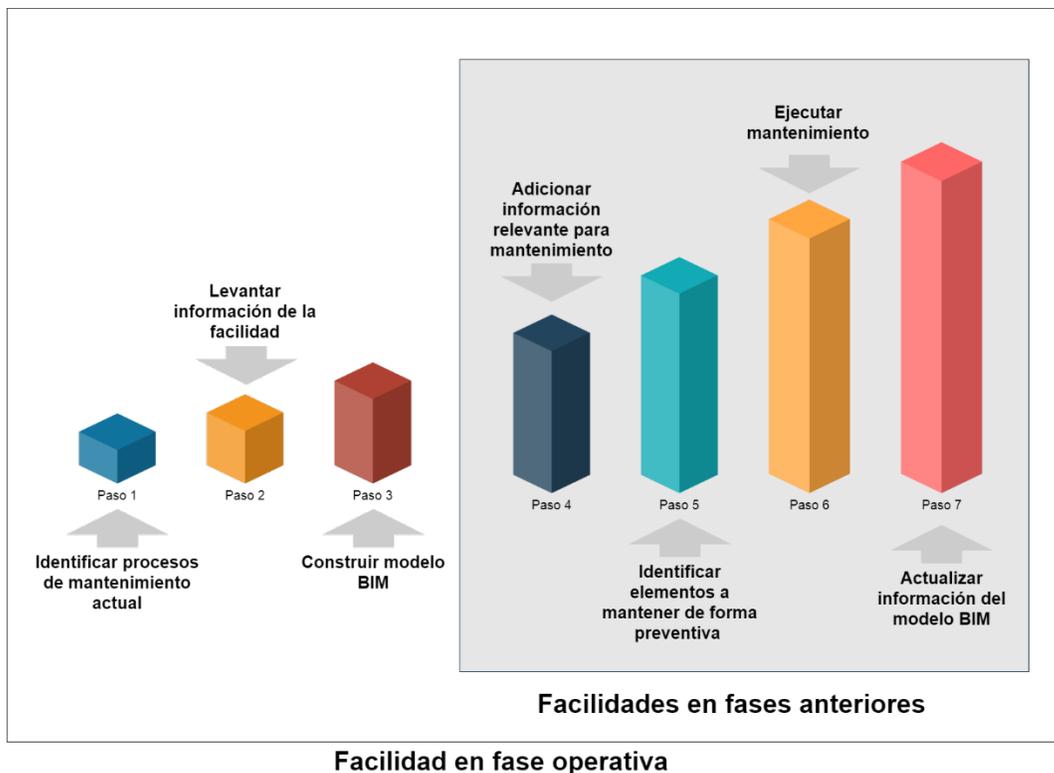


Figura 3. Hoja de ruta para implementar BIM al mantenimiento de una facilidad (Fuente: Propia)

1. Identificar los procesos de mantenimiento actual:

Antes de implementar BIM a los procesos de mantenimiento es importante identificar como se llevan a cabo estos en el presente, definiendo así si existe un plan de mantenimiento preventivo o si solo se hacen actividades correctivas (Ibáñez Chicharro, 2015; Lanfranco Tapia, 2014). Adicionalmente, se deben identificar los requisitos administrativos para llevar a cabo las reparaciones. Por ejemplo, las hojas de orden.

2. Levantar informacion de la facilidad

Este paso es fundamental, ya que sin informacion sobre la facilidad no se puede llegar al modelo. En esta etapa, se deben identificar los elementos que fallan recurrentemente (Ibáñez Chicharro, 2015), para agregar historial de mantenimiento a los componentes; distribución de espacios (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012), es decir la arquitectura de la estructura; y ubicación de los elementos con el fin de facilitar la identificación de estos mismos en el futuro (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012)

3. Construir modelo BIM

Teniendo en cuenta la informacion recolectada en el paso anterior, se construye un modelo 3D que no solo represente adecuadamente la distribución geométrica sino que incluya propiedades cuantitativas y cualitativas de los componentes.

Para establecer el nivel de detalle se puede hacer uso de una matriz de modelación (Ibáñez Chicharro, 2015).

4. Adicionar informacion relevante para el mantenimiento:

Contando ya con el modelo BIM se debe adicionar información relevante para el mantenimiento. Esto incluye propiedades como material, fabrica, referencia, tipo, proveedor e instalador (Ibáñez Chicharro, 2015). Adicionalmente, se puede generar el historial de mantenimiento en caso de contar con las órdenes de trabajo de estos.

Mediante un acuerdo con los actores involucrados en el mantenimiento de la facilidad se pueden determinar los elementos a mantener. Esta selección se basa en el historial de mantenimiento, es decir, en los componentes que fallan recurrentemente (Ibáñez Chicharro, 2015; Lanfranco Tapia, 2014), o mediante modelos probabilísticos que predigan una fecha de caducidad (Marzouk, & Abdel Aty, 2012). En edificaciones nuevas donde los elementos no tienen historial de mantenimiento se debe recurrir a fechas probables de falla de acuerdo a la ficha técnica y experiencias.

Una vez finalizado este procedimiento, se determina un programa o plan de mantenimiento, el cual debe contener la fecha exacta de ejecución y los componentes involucrados.

5. Ejecutar mantenimiento

La ejecución se da de acuerdo al plan planteado en el paso anterior. Es importante que para esta fecha se tenga identificado claramente el elemento en el modelo BIM y que el administrador de la facilidad, comunique claramente el trabajo a realizar.

Esto con el fin de evitar mantenimientos innecesarios a elementos no asignados o ineficientes debido a la confusión de elementos por parte del contratista.

6. **Actualizar información del modelo BIM**

Como se ha mencionado anteriormente, el éxito de la implementación de BIM está directamente relacionado con la constante actualización de la información (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012). A partir de los casos de estudio analizados, se identificaron tres tipos de actualizaciones dependiendo de las actividades realizadas.

El primer tipo se da cuando un componente falla y se debe remplazar por uno nuevo idéntico (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012; Ibáñez Chicharro, 2015). Aquí se debe eliminar el historial de mantenimiento asignado al componente, ya que al remplazarlo el ciclo de vida de este empieza de nuevo. Se debe aclarar que en caso de que se reemplace el elemento por uno no idéntico, además de borrar el historial, se deben introducir las nuevas propiedades.

El segundo tiene lugar después de una remodelación o modificación de espacios (Arayici, Onyenobi & Egbu, 2012). Actualizar esta información en el modelo BIM permite identificar corredores transitables que se pueden ver afectados por tareas de mantenimiento.

Finalmente, el tercer caso se da cuando se cambia la ubicación de un elemento. Por ejemplo, en caso de eliminar un muro algunas instalaciones se pueden ver afectadas, por lo que hay que transferirlas a un nuevo lugar. Para efectos de mantenimiento futuro, es vital conocer la exacta ubicación de los elementos con el fin de no realizar actividades innecesarias.

7. CONCLUSIONES

Los altos costos y la acumulación de estos mismos durante la fase de mantenimiento debido al uso recurrente del mantenimiento correctivo y a la falta de planeación de actividades preventivas, han generado una necesidad económica para optimizar los recursos disponibles.

Mediante la implementación de BIM es posible no solo reducir los sobrecostos sino también obtener beneficios durante la ejecución del mantenimiento de una facilidad. En los casos de estudio analizados se identificó que mediante el análisis visual de los elementos, es decir que mediante el modelo se pueden identificar no solo el elemento a mantener sino el grupo de elementos que se puedan ver afectados por este; el almacenamiento de información técnica sobre componentes, como material, referencia, marca y otros; y la modelación de diferentes escenarios, se pueden controlar los costos de todo el ciclo de vida del proyecto. Adicionalmente, BIM para el FM permite crear un historial de mantenimiento para cada elemento, la coordinación de actividades entre departamentos y la reducción de costos.

BIM afecta positivamente diferentes áreas del FM como la gestión de emergencias, análisis energético, entrenamiento de personal, entre otros. Sin embargo, a partir de los beneficios identificados en este estudio se afirma que tres áreas del FM se ven beneficiadas: comunicación, información y costos.

Por consiguiente, se propone una hoja de ruta con el fin de establecer el rumbo a la hora de implementar BIM a la fase operativa. Dicha hoja de ruta tiene en cuenta dos posibles escenarios. El primero corresponde a un proyecto en fase operativa, el cual no se posee el modelo BIM y tiene un procedimiento de mantenimiento establecido, por lo que se debe empezar desde el paso uno. El segundo escenario corresponde a facilidades que están en etapa de construcción o anterior a esta, donde es más probable que exista un modelo BIM. Cabe aclarar que el éxito de la implementación de BIM depende de la constante actualización de la información.

En síntesis, una instalación mal conservada está condenada al fracaso (Quintero, Solano, & Pandales, 2014), por lo que una gestión eficiente es una necesidad. El presente estudio identificó que la implementación de BIM genera una reducción de costos en las actividades de mantenimiento, aumenta la comunicación entre actores y facilita el acceso a información útil para esta fase. Cabe aclarar que existen más beneficios para el FM sin explorar debido a la ausencia de casos reales. Asimismo, la hoja de ruta propuesta para la implementación de BIM a las actividades de operación y mantenimiento es un punto de partida para incentivar el uso de la metodología.

8. REFERENCIAS

- Hardin, B. (2009) BIM and Construction Management, Indianapolis: Wiley Publishing, IN.
- Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2015). Building information modelling (BIM): now and beyond. *Construction Economics and Building*, 15-28.
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and management in engineering*, 241-252.
- Associated General Contractors of America. (2005). The contractor's guide to BIM, 1st Ed., AGC Research Foundatio.
- Muñoz, J. S., Alvarado, R. G., Arcas, J. P., & Aravena, G. A. (2017). La implementación de la Metodología Building Information Modeling (BIM) para edificios existentes en Chile. *Blucher Design Proceedings*, 486-491.
- Real Academia Española. (2014). Diccionario De La Lengua Española (DEL), 23ª Ed.
- Olivares Sánchez, A. (2015). Mantenimiento integral de edificios e instalaciones: análisis y medidas de mejora.
- Parejo, E. G., & Sánchez, E. G. (2005). *El mantenimiento aplicado a las instalaciones deportivas*.
- Arencibia Fernández, J. M. (2007). Conceptos fundamentales sobre el mantenimiento de edificios. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*.
- De Sitter, W. R. (1984). Costs of service life optimization" The Law of Fives". In *CEB-RILEM Workshop on Durability of Concrete Structures*, Comité Euro-International du Béton.



- Gascueña, N. V., Fernández, J. P. R., & Sáez-Pérez, M. P. (2018). Experiencia docente colaborativa entre universidades. Desarrollo de las dimensiones 4D y 5D a partir de un modelo 3D BIM, 63-79.
- Ramos, L. F., Rugel, R. R., & Aguilar, J. M. (2016). Más allá de la tecnología: BIM como una nueva filosofía. *Civilizate*, 46-49.
- Franco, J., Mahdi, F., & Abaza, H. (2015). Using building information modeling (BIM) for estimating and scheduling, adoption barriers. *Universal Journal of Management*, 376-384.
- Pellicer de García, J. P. (2016). *Análisis de la prolongación de la Avda. de Francia (Valencia) empleando tecnología BIM*.
- Quintero Quintero, M. I., Solano López, C. A., & Pandales Lozano, C. A. (2014). *La degradación y el mantenimiento en las obras de edificación: estudio de caso Institución Educativa Antonio Derka Santo Domingo* (Bachelor's thesis, Universidad de Medellín).
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 125-138.
- Akcamete, A., Akinci, B., & Garrett, J. H. (2010). Potential utilization of building information models for planning maintenance activities. In *Proceedings of the international conference on computing in civil and building engineering*, 151-157.
- Estache, A. (2010). Infrastructure finance in developing countries: An overview. *EIB Papers*, 60-88.
- Kelly, G., Serginson, M., Lockley, S., Dawood, N., & Kassem, M. (2013) BIM for facility management: a review and a case study investigating the value and challenges. In *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, 30-31.
- Roper, K., & Payant, R. (2014). *The facility management handbook*. Amacom.
- Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2011). Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management. *Journal of construction engineering and management*, 431-442.
- Smith, P. (2014). BIM implementation—global initiatives & creative approaches. In *CC2014 Creative Construction Conference*. Diamond Congress Pty Ltd.
- Carbonari, G., Stravoravdis, S., & Gausden, C. (2018). Improving FM task efficiency through BIM: a proposal for BIM implementation. *Journal of Corporate Real Estate*, 4-15.
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 145-151.
- Arayici, Y., Onyenobi, T., & Egbu, C. (2012). Building information modelling (BIM) for facilities management (FM): The MediaCity case study approach. *International Journal of 3-D Information Modeling*, 55-73.

- CRC. (2007). Adopting BIM for facilities management: Solutions for managing the Sydney Opera House. *Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia*.
- Lee, S., & Yu, J. (2015). Comparative study of BIM acceptance between Korea and the United States. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Smith, P. (2014). BIM & the 5D project cost manager. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 475-484.
- Gu, N., & London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in construction*, 988-999.
- Korpela, J., & Miettinen, R. (2013). BIM in facility management and maintenance—the case of Kaisa library of Helsinki University. In *Proc. of 29th Annual ARCOM Conference, Reading, UK*, 2-4.
- Lazo, C. B., & Ogueta, C. S. (2017). La enseñanza de BIM en Chile, el desafío de un cambio de enfoque centrado en la metodología por sobre la tecnología. *Blucher Design Proceedings*, 431-438.
- Ibáñez Chicharro, F. (2015). Usos BIM Como Apoyo Para La Mantención De Infraestructura Educativa. *Pontificia Universidad Católica De Chile*.
- Botero, L., Isaza Pulido, J., & Vásquez Hernández, A. (2015). Estado de la práctica del BIM-Colombia 2015.
- Salazar Álzate, M. (2017). Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de los proyectos de construcción en la ciudad de Manizales.
- Lanfranco Tapia, A. (2014). Gestión de infraestructura hospitalaria con apoyos de modelos BIM. *Pontificia Universidad Católica De Chile*.
- Marzouk, M., & Abdel Aty, A. (2012). Maintaining subway infrastructure using BIM. In *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*, 2320-2328.