



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

MONOGRAFÍA DE GRADO

**SISTEMA DE GESTIÓN BIM-LEAN: EFECTOS DE SU
APLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN CIVIL**

**MORÁN MUÑOZ VALERY DE DIOS
PINILLA DIAZ LORENA**

DIRECTOR:

PhD JORGE LUIS ALVAREZ CARRASCAL

CARTAGENA DE INDIAS

D.T. y C.

2022

**SISTEMA DE GESTIÓN BIM-LEAN: EFECTOS DE SU
APLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN CIVIL**

Autoras

Valery Morán Muñoz y

Lorena Pinilla Díaz

**Director: PhD Jorge Luis Álvarez Carrascal Facultad de ingeniería, Ingeniería Civil
Universidad de Cartagena**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL**

Cartagena de Indias 2022

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | 4 |
| ABSTRACT..... | 4 |
| INTRODUCCIÓN | 6 |
| 1. METODOLOGÍA BIM-LEAN..... | 9 |
| 1.1 METODOLOGÍA BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)..... | 10 |
| 1.2 METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION..... | 17 |
| 1.3 INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM - LEAN..... | 22 |
| 1.4 METODOLOGÍA TRADICIONAL | 36 |
| 1.5 COMPARACIÓN DE METODOLOGÍA TRADICIONAL Y LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SINERGIA BIM-LEAN | 38 |
| 2. CONCLUSIONES | 42 |
| 3. RECOMENDACIONES | 44 |
| 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 45 |

RESUMEN

La presente investigación corresponde a una recopilación bibliográfica detallada acerca del estado de uso de dos metodologías importantes en los últimos tiempos en materia de construcción civil: BIM y *Lean Construction*, además del análisis de su sinergia con el fin de conocer los efectos de esta en el incremento de la productividad de los proyectos de edificación de mediana y gran magnitud, en contraste con el sistema tradicional. Se decidió analizar el estado de las metodologías BIM y *Lean* por separado, sus antecedentes a nivel local y mundial, así como también las principales dificultades a las que se enfrentan ambas técnicas, encontrándose que la falta de personal capacitado, las limitaciones en términos económicos, la ausencia de normativa, el énfasis que se le proporciona a algunas etapas del proyecto, entre otros factores más, constituyen las mayores dificultades o consideraciones a tener en cuenta a la hora de aplicar estas metodologías. Sin embargo, solventando las dificultades anteriores, se comprobó la mejoría en la efectividad de las obras al usar cualquiera de las dos metodologías constructivas, y se constató al evaluar proyectos que ejecutaron la unión de BIM - *Lean* en sus operaciones. El primer efecto remarcable de esta unión es el hecho de que permite una rápida toma de decisiones y proporciona información correcta en tiempo real, creando resultados evidentes en el corto plazo. Asimismo, con la convergencia de métodos, las deficiencias individuales se pueden solventar disminuyendo aún más los costos de operación y reduciendo al mínimo aquellas actividades que no son de carácter contributivo al producto final. Se recomienda analizar esta nueva unión de metodologías en edificaciones que necesitan mantenimiento constante, o en proyectos de construcciones ambiciosas de un tamaño considerable, para así aumentar el conocimiento que se posee de la técnica conjunta en el país.

ABSTRACT

The present investigation corresponds to a detailed bibliographic compilation about the state of use of two important methodologies in recent times in civil construction: BIM and Lean Construction, in addition to the analysis of their synergy in order to know the effects of this in the increase in the productivity of medium and large-scale building projects, in contrast to the traditional system. It was decided to analyze the status of BIM and Lean methodologies separately, their background at the local and global levels, as well as the main difficulties faced by both techniques, finding that the lack of trained personnel, limitations in economic terms,

the absence of regulations, the emphasis given to some stages of the project, among other factors, constitute the greatest difficulties or considerations to take into account when applying these methodologies. However, solving the previous difficulties, the improvement in the effectiveness of the works was verified when using either of the two construction methodologies, and an increase in these was verified when evaluating projects that executed the BIM - Lean union in their operations. The first remarkable effect of this union is the fact that it allows rapid decision-making and provides correct information in real time, creating evident results in the short term. Likewise, with the convergence of methods, individual deficiencies can be resolved by further reducing operating costs and minimizing those activities that are not contributing to the final product. It is recommended to analyze this new union of methodologies in buildings that need constant maintenance, or in ambitious construction projects of a considerable size, in order to increase the knowledge of the joint technique in the country.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se ha generado una percepción hacia la industria de la construcción, en la cual se considera que es poco productiva y con bajos niveles de calidad, esto es debido básicamente a la falta de gestión en los procesos de construcción. (Gutiérrez Vélez, C., 2015). Algunos de los factores que más influyen en los problemas de ejecución en un proyecto de construcción son: errores en los diseños y/o la falta de especificaciones en estos, modificaciones a los diseños durante la fase de ejecución, ausencia de control y carencia en los equipos de seguridad, mala distribución de materiales, falta de suministro ya sea de materiales, equipos y/o herramientas, clima laboral inadecuado, entre otros; generando con esto dificultades ineludibles como sobrecostos, sobretiempos, deficiente calidad del producto final y baja rentabilidad.

“Si bien la producción y la productividad están estrechamente vinculadas, se dice que una empresa, un sector económico o un país son competitivos si producen de manera eficiente, es decir, hacen el mejor uso de los recursos disponibles” (Alvarenga et al., 2017). El aumento de la productividad radica en identificar las causas de estas pérdidas para proponer medidas de mejora, por lo que se debe determinar y comprender estos factores que inciden tanto en la dirección positiva como negativa, y actuar sobre ellos realizando las correcciones correspondientes. De esta manera, tomar medidas de mejora y realizar las acciones de seguimiento adecuadas permitirá aumentar la productividad en los proyectos de construcción.

Choquesa L, (2019) menciona que, a lo largo de los años, la productividad en cada uno de los procesos de construcción de los edificios u obras se ha gestionado de forma tradicional con poca colaboración de métodos fiables y en otros casos se maneja con base en la experiencia, es decir, es responsabilidad del maestro de obra. Muchos investigadores han abordado esta preocupación; a nivel internacional, en los últimos años, España, Estados Unidos, Chile, México, Japón, Brasil y otros países han innovado en la gestión de la construcción a través de modernos sistemas.

Latorre et al., (2019) informan que la productividad es un tema que preocupa al sector de la construcción y ha suscitado muchos debates sobre el modelo productivo adecuado. En una encuesta realizada a más de 270 profesionales de esta industria en España, el 70% de ellos creía que se debe aumentar la productividad y la califican como "negativa" o "muy negativa". El 91% de las personas cree que es necesario implementar cambios para mejorar la gestión de

proyectos, y que el 80% de ellos utiliza la tecnología industrial como algo positivo.

Durante mucho tiempo se han aplicado métodos de planificación tradicionales, los cuales sin duda han sido de gran ayuda para el desarrollo de la industria de la construcción, ya que en estos está la esencia de la planificación como tal, por lo que no hay que olvidar estos fundamentos. Sin embargo, los grandes cambios que se han ido presentando en los proyectos de construcción han traído renovaciones en los métodos constructivos, lo cual es completamente esperable, debido al uso de nuevas tecnologías, procesos constructivos automatizados, mano de obra especializada, nuevos materiales y una adecuada coordinación de equipos.

Latorre et al., (2019) señalan que incrementar la productividad significa mejorar los procesos mediante el uso de nuevas metodologías y procedimientos de construcción, porque una adecuada gestión de proyectos requiere la integración de operaciones, tecnologías y personal para lograr sus objetivos. No solo deben analizarse todos los riesgos, también deben gestionarse correctamente; es importante comprenderlos, pero también encontrar soluciones a cada posible escenario de amenazas, para garantizar una buena gestión de cada uno de ellos y reducir la posibilidad de fracaso del proyecto. Es por esto que se adoptan nuevas tecnologías de la información y herramientas digitales como estrategias efectivas para la captura de datos confiables, contribuyendo así a incrementar los indicadores de productividad. “Se necesitan nuevas teorías de producción para mejorar esta situación. La aplicación conjunta propuesta de *Lean* y BIM puede ser una solución viable” (Fakhimi & Azhar, 2016), con el fin de dirigir la construcción a un nivel satisfactorio de productividad, manejando un cuidado y seguimiento en las fases de planeamiento, control, ejecución y retroalimentación.

La filosofía *Lean* contribuye en la creación de valor para el cliente eliminando todo lo que no aporte al producto, optimizando el uso de recursos y en la búsqueda constante de mejores procesos de transformación. (Gómez et al., 2012); mientras que la metodología BIM se enfoca en aumentar la colaboración entre los actores bajo la utilización de herramientas de información, las cuales gestionan, describen y establecen características del proyecto, formando un entorno de trabajo más favorable para la mejor toma de decisiones, teniendo como fin la más cercana aproximación a la completa definición del proyecto convirtiéndolo en confiable. (Choquesa, 2019).

La implementación de BIM ha experimentado un crecimiento exponencial. “Los países

nórdicos y otros, como EEUU, Nueva Zelanda o Singapur, llevan utilizando BIM de manera generalizada desde la década del 2000” (Latorre et al., 2019). La tecnología BIM es una solución con gran potencial para la industria de la construcción, ya que permite compartir un modelo digital común de forma coherente con todas las personas involucradas en su proceso, pudiendo gestionar todo el ciclo de vida del proyecto. Por otro lado, *Lean Construction* es un concepto constructivo por excelencia y tiene por objetivo crear valor para los clientes y optimizar los recursos al máximo. *Lean* y BIM son independientes entre sí y se pueden implementar por separado; sin embargo, es posible aumentar los beneficios de aplicar BIM a través de metodologías *Lean*, para alcanzar su máximo potencial, por lo que es fundamental su implementación en conjunto.

Este proyecto tiene importancia dentro de la ingeniería civil enmarcado en la línea de gerencia de proyectos ya que la gestión de proyectos y los costos en la construcción son fundamentales en el desarrollo de las obras, teniendo en cuenta que esta es la base tangible del mantenimiento de casi todos los sectores económicos, por lo tanto tiene la responsabilidad de reducir la mayoría de las pérdidas, errores y factores de baja competitividad de la implementación in situ, y de ingresar nuevas tecnologías y/o procesos más eficientes, materiales y el equipo para obtener mejores beneficios económicos.

Se hizo una investigación exhaustiva acerca de los procesos de BIM-Lean y sus impactos en la construcción. Para esto, se procedió con la búsqueda bibliográfica que permitió evaluar y recopilar toda la información que se tenga del estado del arte sobre este tema, el campo de revisión fue tanto nacional como internacional.

El objetivo central de la monografía fue identificar los efectos de la aplicación del sistema de gestión BIM-LEAN en la gestión de proyectos de construcción civil, en contraste con el sistema tradicional teniendo como fin proponer acciones que mejoren la productividad. Se analizó cada sistema de gestión en proyectos de construcción civil. También se realizó una comparación entre ambas metodologías (BIM-Lean vs Tradicional) indicando sus diferencias, ventajas y desventajas, y por último se propuso acciones que permitieron la mejora de productividad en los proyectos.

1. METODOLOGÍA BIM-LEAN

Durante mucho tiempo, los principios de la industria de la construcción han comenzado a desprenderse de las tradiciones del proceso de diseño y su ejecución (Rojo, 2019). Los proyectos de construcción tradicionales muchas veces no respetan la gestión del proceso de producción-diseño-licitación-construcción para obtener buenas ganancias, por el contrario, la mayoría de ellos se retrasan y tanto los constructores como los clientes no están satisfechos con la demora y los sobrecostos (Porrás et al., 2014). En comparación con otras industrias, esto hace que exista un retraso considerable, por lo que se ha optado por implementar nuevos métodos que contribuyan al desarrollo y producción de manera eficiente. A medida que surgen estas nuevas metodologías, se empiezan a cambiar las posturas y las ideologías con respecto a cómo se debe construir y cuáles son las mejores formas para aprovechar los recursos y disminuir las pérdidas (Rojo, 2019). Esto, debido a que, en un gran número de obras de construcción, no se tiene la suficiente capacidad de poder resolver de manera eficiente, productiva y con calidad los proyectos que ejecutan, ya que estos se consideran altamente complejos por ser cada uno irrepetible. Este problema se acentúa con la inclusión de que los proyectos deben ser sostenibles, porque añade mayor dificultad a los diseños y a la construcción de las edificaciones, lo que se define como un conjunto de sistemas que funcionan colectivamente.

Se decidió buscar información acerca de la aplicabilidad de la metodología BIM en las construcciones colombianas y la implementación de la técnica *Lean* en el mismo contexto nacional, así como también para aquellos estudios que se pudieron constatar en la ciudad de Cartagena. Se analizaron investigaciones que permitieran conocer la realidad de la aplicación de ambas técnicas en el territorio latinoamericano, identificando así las posibles limitantes que surgen en el proceso, las falencias propias de ambas estrategias y aquellas propuestas que plantean una correlación entre las distintas técnicas utilizadas en el marco de las obras civiles. Por último, se resaltó el papel que han jugado estas técnicas en el contexto internacional, identificando aquellos países que poseen mayor experiencia en el campo con ambas metodologías y lo aprendido con base en ellas.

Es importante aclarar que para esta recopilación bibliográfica se utilizaron herramientas tecnológicas como computadores, lectores de pdf, bases de datos y conexión a internet disponibles en la Universidad de Cartagena. Todas estas herramientas de fácil acceso que

ayudaron al desarrollo de la investigación. De esta manera se tocaron temas como las funcionalidades del BIM y *Lean Construction* como herramientas individuales, sus limitaciones, el estado del arte tanto en Colombia como en otros países y todas las ventajas y desventajas de utilizar ambas metodologías en conjunto durante el proceso de construcción.

Para el caso de la sinergia entre ambas técnicas, se abordaron los antecedentes locales, nacionales y, en cierta medida, mundiales, así como también las teorías recientes que se han desarrollado al respecto, los efectos positivos a partir de la unión entre estrategias, la comparación entre proyectos que han decidido utilizar la conjunción entre BIM - Lean con aquellos que utilizan una de las dos metodologías, entre otros aspectos más.

Posterior a la selección del tema, se reunieron diversos artículos científicos de revistas indexadas y con validez científica que permitiera identificar las fortalezas y ventajas que el BIM-Lean tiene para los procesos de construcción. Los artículos analizados para este fin provienen de bases de datos bibliográficas, tales como Scimedirect, Scopus, Web of Science, y análisis de proyectos de grado de trabajos que se han desarrollado también en la Universidad de Cartagena. Con base en ellos, se construyó el marco de referencia que sirvió para la redacción de las secciones subsiguientes.

1.1 METODOLOGÍA BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Como se ha mencionado anteriormente, la sigla BIM hace referencia a Building Information Modeling, un sistema o metodología que nació en los años 60s como una revolución al software de dibujo 2D (Hernández et al., 2021). Este cambio, de acuerdo con Hernández et al., (2021), permitió mostrar todo el proceso de la construcción en un medio virtual, obteniendo resultados de modelos estructurales, configuración espacial, costos, uso de energía, entre otros. Esto prueba, entonces, que la técnica o metodología BIM se basa en la interoperabilidad y en la multidisciplinariedad de un proyecto de construcción, poniendo en conflicto distintas dimensiones de este. Estas dimensiones son:

- 3D: El modelo en sí mismo, que cuenta con una plataforma geométrica y paramétrica en la que se añade información cualitativa en todos los elementos del proyecto y que ayuda a planificar el ciclo de vida del edificio.
- 4D: El tiempo

- 5D: Extracción de cantidades y costos
- 6D: Gestión de instalaciones
- 7D: Factor ecológico (Hernández et al., 2021, pp. 34)

Lo mencionado hasta el momento proporciona indicios acerca de la efectividad y los diferentes enfoques que puede poseer un estudio desarrollado con la metodología BIM. Tal vez una de las dimensiones de las que menos se ha comentado hasta el momento es la convergencia entre la sostenibilidad y esta metodología, integrada a partir de la séptima dimensión, denominada factor ecológico. En esta, Santamaría y Malaver (2019) hacen especial énfasis, dando cuenta de que el hecho de aumentar la eficiencia en los procesos constructivos aumenta la sostenibilidad de ellos.

En el caso de la metodología BIM, a nivel nacional, se resalta el estudio de Mojica y Valencia (2012), quienes estudiaron el efecto que tendría la aplicación de metodologías BIM en la construcción de un edificio de oficinas de 6 pisos en estructura metálica. En este proyecto, se indica de una manera bastante visual la modelación de los diferentes elementos que conforman la estructura, se realiza una simulación constructiva de la obra y se compara el presupuesto obtenido por el modelo con el que arroja la residencia de obra. Este proyecto ayudó a dar una idea inicial de cómo aplicar la metodología BIM a una edificación y qué comparaciones realizar para saber si puede llegar a ser de utilidad.

Para el distrito capital, Cerón y Liévano (2017) comentan que los procesos constructivos tienen un bajo nivel tanto de coordinación, como de tecnología, por lo que se hace necesario ejecutar estrategias innovadoras en el ámbito de la construcción. En este sentido, enuncian que es menester poner en marcha la metodología BIM en conjunto con estrategias como el modelado 3D, 4D, 5D, entre otras más, siendo un indicio de que el nexo entre la metodología BIM y *Lean* puede tener cabida en el contexto colombiano.

Haciendo énfasis en otras ciudades principales de Colombia, se debe mencionar lo analizado por Pacheco y Romero (2019), autores que se centraron en tomar como base la estrategia BIM para el diseño de la construcción del bloque de la Universidad de la Costa, localizada en la ciudad de Barranquilla. Esta aproximación se realizó con el fin de visualizar modelados de edificaciones grandes y crear réplicas confiables en la totalidad del proyecto, siendo una demostración de que, en el diseño de proyectos de gran magnitud, la metodología BIM es bastante eficiente.

En la etapa de diseño, existen distintos factores a tener en cuenta para hacer uso de la metodología BIM que tanto se ha mencionado hasta el momento. Basándose en un estudio de caso, de una empresa mediana de diseño arquitectónico, López (2017) encontró que para poner en marcha una estrategia de este tipo, se necesita realizar un análisis estructurado de la realidad social de la empresa donde se desea implementar ese proceso y validar las destrezas del personal que estará ejecutando las labores en cuestión. Asimismo, López (2017) enuncia que debe existir una búsqueda constante de alternativas para optimizar los procesos, debido a las cambiantes dinámicas de los desarrollos tecnológicos.

Con respecto a la ejecución y formalización de metodologías de la construcción en el sector público, se han realizado esfuerzos por implementar esta técnica en instituciones como la Policía Nacional de Colombia, así como lo muestra lo publicado por Ramírez (2019). Este es un plan bien estructurado que recopila información acerca del estado actual de las construcciones que se desarrollaron al interior de la institución, definiendo cómo serían los costos vinculados con la adopción de estrategias BIM en su ejecución, las regulaciones que deben ser modificadas o creadas y las fases que deben ser seguidas con propósito de tener éxito en la aplicación del BIM (figura 1). Estas se clasifican en tres, a grosso modo:

- Fase 1: Capacitación del personal.
- Fase 2: Procesos impactados.
- Fase 3: Proyecto piloto y medición con indicadores.

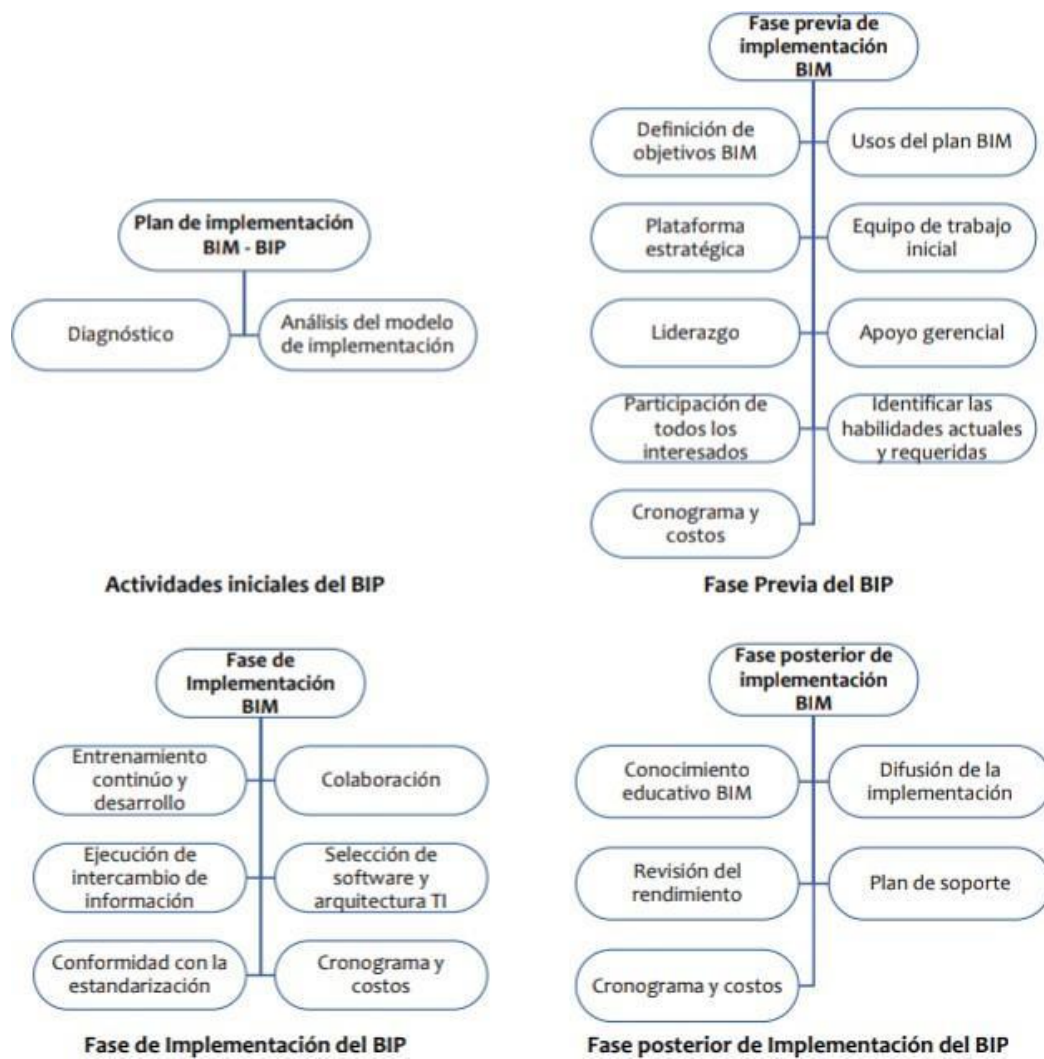


Figura 1. Diagrama de fases necesarias para una aplicación exitosa del BIM en una institución pública como la Policía Nacional. Tomado de: Ramírez (2019).

A pesar de mostrar un plan o una propuesta bien estructurada para desarrollar un proyecto BIM en las operaciones de una entidad pública tan relevante como esta, Ramírez (2019) también se centra en mostrar aquellas falencias que deben ser solventadas para cumplir el objetivo de implementarla en sus labores constructivas. Estas falencias tienen relación con la cultura organizacional de la Policía, la falta de regulación al respecto y la alta inversión que se debe hacer en la capacitación de personal. Todos estos puntos son abordados más adelante, pues en esto convergen distintos autores al respecto.

En un estudio mucho más local, realizado en la ciudad de Cartagena, Mendoza y Ocampo (2020) hicieron uso de la metodología BIM para analizar el estado actual de un tramo

de la edificación más icónica de la ciudad: “el cordón amurallado”. A partir de esta premisa, se elaboró una modelación en 3D que permite conocer información detallada sobre su diseño y mantenimiento, con el fin de evitar pérdidas de recursos destinados a la conservación de esta construcción representativa de la arquitectura colombiana. Estos autores, con base en el modelo que obtuvieron, visualizaron las problemáticas o patologías a las que se encuentra sometida esta edificación, comprobando así lo que es sugerido por diferentes estudios.

Por su parte, en otra región de la misma ciudad de Cartagena, se implementó esta misma metodología BIM en conjunto con modelado en 5D para la planeación de viviendas de interés social. Este estudio fue ejecutado por García y Torres (2021), en éste la metodología BIM se utilizó para la construcción de nuevas viviendas. Además, los autores hicieron uso de líneas de balance para optimizar la realización de proyectos de interés social, obteniendo como resultados la predicción de posibles interferencias en el proceso constructivo. A partir de lo anterior, se puede tener una idea preliminar de las ventajas o beneficios que se pueden obtener a través de la convergencia entre la metodología BIM y otras estrategias que se articulen a ella.

Tomando otras regiones del territorio nacional, se debe tener en cuenta que, de acuerdo con Porras et al., (2015), en el ámbito de las organizaciones constructoras colombianas, es muy pobre la adopción de técnicas que vayan acorde con lo enunciado en los lineamientos de la metodología BIM. En adición a lo anterior, García y Torres (2021) afirman que la puesta en marcha de la metodología BIM surgió a partir del trabajo conjunto de distintas instituciones universitarias, con el propósito de mejorar la etapa de construcción de los proyectos, siguiendo los lineamientos que supone la metodología BIM. A pesar de esto, se debe llevar a cabo un plan de trabajo de difusión que permita la adopción de la metodología en las compañías constructoras.

Por último, en cuanto al contexto colombiano se refiere, Moreno et al., (2020) proponen que este es uno de los sectores de la economía más importantes, dada su alta contribución al Producto Interno Bruto y la generación de 1.8 millones de empleos anuales. Ahora bien, por lo anterior, es indispensable poner en práctica estrategias o metodologías como esta, que en Colombia podrían generar los beneficios expuestos por Moreno et al., (2020, pp. 4):

- Optimización de los diseños
- Coordinación de diseños en tiempo real
- Identificación de los riesgos y evaluación de los proyectos en etapas tempranas

- Agilidad en la toma de decisiones.
- Ajuste de detalles constructivos por detección de interferencias.
- Vinculación del modelo con gestión de compras, avance de cronograma y actas de pago.
- Optimización de los procesos de construcción en busca de cero pérdidas.

Sin embargo, el desconocimiento por parte de los profesionales que laboran en el gremio de la construcción, hace complicada la adopción de esta efectiva estrategia en los proyectos actuales. Este desconocimiento es soportado por estudios como el de Cerón y Liévano (2017, citados en Moreno et al., 2020, pp. 5) en donde se constata que, con base en 40 profesionales en arquitectura e ingeniería encuestados, se obtuvieron los resultados siguientes:

- 47% de los encuestados no conoce la metodología BIM
- 82.5 % desconoce compañías que hayan implementado BIM en Colombia.
- 60% de los encuestados no manejan BIM
- 74.3% prefieren utilizar software CAD sobre otras metodologías.

Poniendo en evidencia el desconocimiento sobre este método en las construcciones colombianas.

En el contexto latinoamericano, el trabajo que se ha desarrollado con el fin de ejecutar metodologías de esta índole es poco, siendo una realidad escasamente concretada. No obstante, se resalta el trabajo que se ha venido realizando en países como Chile, cuya difusión e implementación es de las más relevantes en el territorio (García y Torres, 2021). Se destaca específicamente este país, debido a que allí se han promovido políticas que pretenden reducir el desconocimiento acerca de este tipo de técnicas constructivas, mediante la consulta gratuita (García y Torres, 2021). Este es un buen indicador de que, en algunas partes de Latinoamérica se está buscando ampliar la aplicación del método BIM en las edificaciones. Por su parte, Moreno et al., (2020) afirman que países como México y Brasil, en conjunto con Chile, tienen el liderazgo en la generación de proyectos BIM, seguidos por Perú y Argentina. Entonces, queda en evidencia también, que, al no estar en esa lista, Colombia debe procurar adoptar políticas de construcción como la metodología BIM.

A nivel internacional, son innumerables las aplicaciones de éxito que existen desde la puesta en marcha de esta metodología BIM. Inicialmente, se debe mencionar que Estados

Unidos es el país pionero en este tipo de metodologías, por la implementación de este nuevo método de planeación y control de proyectos. Es con base en este, que Colombia trabaja en una metodología con propósitos comunes, tomando países exitosos en este sentido para abordar la aplicación de BIM en la nación (Moreno et al., 2020). En adición a esto, en el Reino Unido, como es uno de los países que más utiliza la metodología BIM, se comenta que la adopción difundida de esta hará ahorrar entre un 15 % y un 20 % del coste de los proyectos, independientemente del país que la aplique (Moreno et al., 2020). Es decir que procurar seguir el ejemplo de países más experimentados en la materia puede generar beneficios económicos relevantes.

Además de los países mencionados, esta metodología ha sido adoptada por Dinamarca, Suecia, Noruega, España, entre otros. En algunos de estos países, se han promulgado leyes y normativas que procuran que las obras civiles sean ejecutadas siguiendo las premisas del modelo BIM, debido a su efectividad. Esto se ve aumentado por el hecho de que, en infraestructura pública como puentes, líneas ferroviarias, carreteras y autopistas, entre otras, ayuda para su diseño, planificación y mantenimiento, y, asimismo, evita la realización de tareas tediosas y que requieren de mucho tiempo (Rauccio, 2019).

Como estudios de caso específicos de ciertos países desarrollados, se tiene el ejemplo de la construcción de vías en Shanghái (Rauccio, 2019), específicamente, de una autopista de 500 Km de longitud y 5 carreteras conectadas a ella. Haciendo uso de herramientas BIM como Autodesk Revit, Navisworks, Robot Structural, Ecotect Analysis y Infrastructure Modeler. Con esta metodología, y articulando tanto el modelado 3D, como el 4D y el 5D, se pudieron detectar y prevenir choques, y se mejoró significativamente la práctica de diseño en comparación con otros métodos (Rauccio, 2019).

Por otro lado, España posee uno de los casos de estudio más impactantes de aplicación de la metodología BIM. Este corresponde a "la construcción en el año 2013 del Campus de las Ciencias de la Salud de la Universidad de Barcelona, que cuenta con una superficie de 11.805 m², y, que con el uso de BIM, pudo controlar todos los componentes arquitectónicos y estructurales de la edificación, y evitar conflictos entre las diferentes disciplinas". (Henao et al., 2019). También, ocasionó que se redujera en un 19% el presupuesto inicial con la puesta en marcha de la técnica BIM (Piña et al., 2017).

En cuanto a sus desventajas, consideraciones o dificultades, esta es relativamente nueva, y, por tanto, no cuenta con suficientes profesionales capacitados dentro de las

universidades, por lo que hay una gran falta de habilidades y competencias BIM de los operadores de los *softwares*. Por otra parte, el costo inicial de *hardware* y *software* también es un problema en el presupuesto, sumándole el costo en educación y entrenamiento (Duarte, 2014). También, el respaldo legal de las autoridades no es muy bueno y por esa razón las empresas presentan resistencia a los cambios en las estructuras curriculares, además de resaltar que la estructuración del nuevo eje curricular demoraría.

Con respecto a la metodología en sí misma, Duarte (2014) señala que los profesionales que actúan durante la ejecución del proyecto, deben estar alineados en la dirección de proyectos y tener la disciplina para mantener con monitoreo el proyecto. Este mismo autor afirma que la metodología BIM debe complementarse con otras guías, como la Guía del PMBOK y otros paquetes de softwares, como por ejemplo Office. No es posible, con esta ni con otra metodología individual desarrollada, controlar variables como: demoras en los proveedores, estado del clima o demoras en mano de obra y, por último, no es posible visualizar variaciones en la capa del suelo cuando se presente un imprevisto en la obra (Duarte, 2014).

Finalmente, Sun et al., (2017), realizaron una recopilación, tomando como referencia estudios que implementan la metodología BIM, para resaltar aquellos aspectos que limitan su aplicación en contextos de obras civiles. Estos son: la necesidad de educar profesionales acerca de BIM, la falta de datos de interoperabilidad, cambios en flujos de trabajo y modelos de negocio inapropiados, estándares y prácticas, resistencia al cambio de metodología, la funcionalidad de las herramientas BIM, la responsabilidad entre las partes interesadas, la naturaleza fragmentada de la industria de la construcción, falta de cooperación entre compañeros de la industria, entre otras más. Estas limitaciones fueron comentadas por artículos que exponen su experiencia a la hora de desarrollar proyectos con metodología BIM, recopiladas en el estudio de Sun et al., (2017).

1.2 METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION

La técnica *Lean Construction* es descrita por Koskela (1992) como una forma de diseñar sistemas de producción para minimizar el desperdicio de materiales, tiempo y esfuerzo para poder generar el máximo valor posible en un proyecto, a través de la mejora continua. Koskela (1992) formuló un modelo basado en la metodología de manufactura *Lean*, donde introduce cambios conceptuales en la gestión de la construcción, con el objetivo de mejorar la

productividad enfocando todos los esfuerzos en la estabilidad del flujo de trabajo. Para poder apreciar cómo este concepto aplica a los procesos de diseño y construcción, se debe entender cómo mejorar el desempeño de la industria manufacturera y de servicio donde se da por generalidad la producción en masa (Lincoln & Syed, 2011). *Lean* en su traducción del inglés significa “Magro” es decir, sin grasa, y es que esta metodología usa menos cantidad de todo comparado con la producción en masa, donde es común tener un nivel de defectos consideradas aceptables en sus productos o servicios, debido a la masificación misma que la caracteriza. *Lean* está enfocado en la adición de valor en el flujo de trabajo, producto o servicio, reduciendo o eliminando interrupciones o actividades que no generan valor en la producción (Lincoln y Syed, 2011). También puede ser caracterizado como una filosofía en términos de objetivos, principios, métodos o herramientas cuyo ideal es hacer encajar perfectamente un producto específico a su propósito, nada más ni nada menos, entregado en forma ágil y sin desperdicios (Lincoln y Syed, 2011).

Existen autores que explican que *Lean Construction*:

Es una filosofía que cambia el pensamiento tradicional de trabajo en el sector de la construcción por medio de sistemas de gestión innovadores fundamentados en análisis de pérdidas, planificando las actividades con el objetivo de mejorar la productividad en la construcción, eliminando actividades que no aportan para el resultado de la obra. (López et al., 2017).

Esto indica que, además de procurar una reducción en las materias primas, la técnica de *Lean Construction* pretende eliminar de las líneas de construcción aquellas actividades que no aportan un beneficio real al resultado final. Además de lo anterior, López et al., (2017) muestran que la técnica *Lean* pretende:

- Eliminar pérdidas por demoras e ineficiencias en los procesos internos de la organización.
- Prevenir y eliminar fallas de equipos, interrupciones y pérdidas de producción.
- Buscar siempre la perfección y mejoras de calidad.

Este tipo de metodología fue desarrollado inicialmente por Toyota, "cuyo objetivo es aumentar el valor del producto a partir de la eliminación de cualquier tipo de actividad que no genere valor para el cliente" (Araque et al., 2017). Para hacerlo, las distintas actividades que

hacen parte del proceso productivo de una empresa, son clasificadas en tres diferentes tiempos (Araque et al., 2017): el tiempo productivo, que es aquel en el que se genera valor sobre las actividades realizadas; el tiempo contributivo, que es el tiempo en el que se le brinda apoyo a las actividades productivas y el tiempo no contributivo, donde entran todas aquellas actividades que no pueden ser clasificadas en los otros dos tipos de tiempos. Observando las definiciones anteriores, se puede inferir entonces que, en una operación de construcción civil, se debe tratar de incrementar las actividades que entran en tiempo productivo y en tiempo contributivo, y tratar de eliminar aquellas que entren en la clasificación de tiempo no contributivo.

Para el caso colombiano, se tiene el estudio de García (2012), quien propuso la aplicación de esta técnica en la construcción de viviendas de interés social. Este autor destaca que, mediante el empleo de técnicas sencillas de control como el sistema del último planificador, que hacen parte de esta metodología, lo que se pretende es hacer que el proceso constructivo sea un poco más industrializado, creando productos de mejor calidad y que satisfagan las necesidades de los clientes. En este caso, las viviendas que resultan como producto final.

Tomando un enfoque diferente, Valencia (2018) enuncia que la metodología *Lean Construction* podría ser aplicada de forma exitosa en la construcción de infraestructura vial en el país, con base en una revisión y en un análisis descriptivo del estado de operación y creación de este tipo de construcciones. Este autor identificó también el nivel de eficiencia de aquellas empresas que pusieron en marcha la metodología *Lean Construction* en sus operaciones, identificando de esta forma su idoneidad para la aplicación en este sector de la economía colombiana.

Por otra parte, Araque et al., (2017) establecen que una de las estrategias de calidad utilizadas en el sector de la construcción civil es la metodología *Lean Construction* y la implementación del análisis de pérdidas en la identificación, análisis y mejoramiento de los tiempos productivos, contributivos y no productivos. A partir de un estudio de caso aplicado en la ciudad de Bucaramanga, Santander, que implementa esta técnica, los resultados obtenidos evidencian la mejora en el control de tiempos no productivos y la creación de estrategias ingenieriles en la transformación de tiempos productivos. Esto es prueba ferviente de la utilidad de poner en práctica técnicas como esta.

Otro estudio relevante a nivel nacional, y cercano a la realidad que se vive en la ciudad de Cartagena, es el propuesto por Landazábal et al., (2019). Estos autores afirman que, en el

país, y específicamente en la ciudad de Cartagena, se han ido realizando estudios en los últimos 5 años para aplicar esta metodología en sectores de la economía como el automotriz y el de la construcción. Y, a pesar de que no se trata de un estudio basado en el sector de la construcción, Landazábal et al., (2019) exponen un caso que es aplicable en la industria metalmeccánica de la ciudad en cuestión. Esta versatilidad en los distintos grupos de la economía es un claro ejemplo de la efectividad de la aplicación de este método *Lean*, pues responde de manera positiva a las variaciones en las características del sector económico que se analice.

Dejando de lado la situación colombiana, es necesario analizar qué sucede en distintos países latinoamericanos con respecto a la aplicación de esta metodología. Un estudio remarcable en este sentido es el publicado por Martínez et al., (2019), quienes analizan a grosso modo cuál es la situación de aplicabilidad de la metodología *Lean* en el contexto constructivo latinoamericano. Además, se centran en un estudio de caso puntual ocurrido en Ecuador, resaltando los beneficios obtenidos y también los limitantes que surgieron al respecto. En los párrafos siguientes, se tratarán los hallazgos de este estudio con mayor detalle.

El primer punto a resaltar de lo encontrado por Martínez et al., (2019) es que en América latina y el Caribe, la actividad constructiva comprende una gran proporción del costo total de la vivienda, siendo esta de casi dos tercios del precio final (Brain y Sabatini, 2006, citados en Martínez et al., 2019). Es por esta razón que cualquier iniciativa que intente mejorar la eficiencia a lo largo del ciclo de vida de un proyecto puede tener un impacto positivo en el precio de venta y, por tanto, en su asequibilidad. En la región, además, los proyectos de construcción se basan en métodos tecnológicos básicos y en métodos constructivos obsoletos (Torres y Torres, 2009, citados en Martínez et al., 2019). Sin embargo, tal como lo expresan Martínez et al., (2019), el potencial de la metodología de *Lean Construction* no ha sido completamente explorado en el contexto latinoamericano.

Martínez et al., (2019) también comentan que la literatura existente para tratar de proveer vivienda asequible posee dos grandes brechas que no son tenidas en cuenta: la primera de ellas es que la mayoría de estudios se centran en cierta parte del proceso productivo como tal, antes de buscar la mejoría en conjunto. La segunda brecha tiene relación con que, al momento de estudiar la aplicabilidad de la metodología *Lean Construction*, no se tiene en cuenta el contexto local de la zona, incluyendo financiamiento y regulación, que pueden afectar de forma considerable el éxito del método.

Para probar cómo puede verse influenciado un proyecto que haga uso de esta

metodología, teniendo en cuenta las dos brechas mencionadas, Martínez et al., (2019) estudiaron una aplicación de esta en territorio ecuatoriano, que hace uso del método CBA (Selección por Ventajas o Choosing By Advantages). A partir de este, se permitió representar de manera colectiva el contexto y elegir la alternativa más idónea para el diseño de la edificación y su construcción. Con base en lo anterior, los resultados que se observaron en distintos aspectos, son bastante prometedores, resaltando el hecho de que se redujeron los costos en un 20 % y el tiempo de trabajo en el diseño que pasó de ser de 7 a 3 días.

Por último, con la revisión y aplicación de la metodología Lean en una vivienda común de Ecuador, se pudo identificar una limitación relevante que se tiene para poder poner en marcha la técnica de *Lean Construction* en el territorio (Martínez et al., 2019). Esta tiene relación con la falta de incentivos para dar valor al producto inmobiliario, causada por la alta cantidad de políticas subsidiarias, que no crean las condiciones propicias para motivar a los constructores a competir a través de realizar mejoras en el producto inmobiliario final. Esto, debido a que la cantidad del subsidio que se les provee a los propietarios de bajos ingresos establece el precio máximo de venta y la competencia se desplaza a otros sectores, tales como la venta de lotes (Martínez et al., 2019).

Pasando a un contexto más global, la metodología *Lean Construction* ha sido utilizada exitosamente en distintas naciones. Esta estrategia de construcción posee distintas prácticas identificadas por la literatura, pero de acuerdo con Xing et al., (2021), dentro de las más comunes se resaltan LPS (Last Planner System) y JIT (Just In Time). Existen otras estrategias dentro de esta metodología, que son utilizadas con fines específicos alrededor del mundo: mejorar la ejecución del proyecto, incluyendo ingeniería, visualización y el método de 5S, el cual es aplicado continuamente a la gestión y administración, que consta de 5 fases: clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina. Además, se ha reconocido el impacto positivo no solo a nivel económico, sino también a nivel social y ambiental.

Ahora bien, de acuerdo con Xing et al., (2021), la tendencia actual es tratar de formar una sinergia entre el método *Lean* y otro tipo de técnicas y metodologías que mejoren la eficiencia del proceso constructivo. Esta articulación entre la filosofía Lean y otras técnicas ha tenido un impacto positivo para obtener mayor productividad (Xing et al., 2019). Por ejemplo, en el estudio de Heravi et al., (2020), se estudiaron los efectos positivos en el consumo de energía y la reducción en las emisiones de Carbono a través de la integración de técnicas prefabricadas con la metodología *Lean Construction*. Además de ellos, Porras et al., (2014)

mencionan que los proyectos de construcción normalmente presentan mucha incertidumbre sobre su planeación y ejecución, por lo que consideraron a *Lean Construction* como un proceso de cambio que permite optimizar, reducir o eliminar el tiempo de entrega del proyecto. Una combinación que ha sido demostrada como exitosa en este sentido es la integración de la filosofía *Lean* con la metodología BIM descrita previamente. Es esta, precisamente, la que se abordará en la siguiente sección.

1.3 INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM - LEAN

Ahora bien, teniendo este marco conceptual, se han realizado estudios sobre la integración de *Lean* y BIM, como proceso colaborativo de diseño arquitectónico, construcción y operación, a través de modelos parametrizados en tiempo real, promovidos por tecnologías de la información (Garrido et al., 2015). *Lean* promueve la adopción de BIM (Mahalingam et al., 2015) y su uso ayuda a la toma de decisiones en la planificación a corto plazo, ya que puede proporcionar información correcta en tiempo real. (Garrido et al., 2015). Además, también enriquece la comunicación y simplifica la resolución de problemas (Tillman & Sargent, 2016), reduciendo cambios y proporcionando a los clientes valor añadido (Bhatla & Leite, 2012), aumentando la fiabilidad y reduciendo variabilidad del proceso en las fases de diseño y construcción (Toledo et al., 2016). De esta forma, han coincidido en que estas dos herramientas se complementan entre sí, y su implementación al mismo tiempo conduce a desempeñar un mejor proyecto.

Un ejemplo de la sinergia entre estas dos metodologías y enfoques es el propuesto en el trabajo de Clemente y Cachadinha (2013). Estos autores afirman que “el uso de modelos 3D juega un papel importante para facilitar la implementación de los principios *Lean*, ya que mejora significativamente la visualización del proceso y apoya las actividades de planificación y coordinación”. Ellos implementan la convergencia entre ambas técnicas para un proyecto de renovación en una estación de tren, cuyos resultados sugieren una importante reducción de las actividades y duraciones sin valor agregado, además de que la implementación de este enfoque logró la alineación de los intereses de todas las partes interesadas hacia un objetivo común de cumplir con el cronograma general del proyecto. Los hallazgos muestran cómo un enfoque combinado BIM-Lean mejoró el flujo de trabajo en los proyectos de mantenimiento MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*) y abre perspectivas hacia la generalización del enfoque

propuesto en un método práctico de gestión de producción basado en BIM-Lean.

En este caso particular (Clemente y Cachadinha, 2013), encontraron dificultades que sentaron las bases para actualizar el modelo BIM, como la identificación de áreas donde no quedaba espacio para cableado nuevo o áreas de difícil acceso. Esto llevó a los otros equipos a buscar nuevas soluciones, evitando así retrabajos. Analizando el trabajo en áreas donde más de un equipo tuvo que trabajar al mismo tiempo, se encontraron sinergias para evitar conflictos. Esta funcionalidad BIM permitió materializar los siguientes principios *Lean*:

1. El análisis/gestión BIM junto con los equipos de trabajo hizo que todo el proceso fuera transparente y colaborativo, animando a los equipos a coordinar y planificar su trabajo, optimizando la producción y aumentando la flexibilidad entre ellos.
2. Las reuniones diarias llevaron a una mayor participación de los equipos de trabajo en el proceso, lo que se tradujo en una mejora continua del proceso.
3. Reducción de actividades sin valor agregado mediante la identificación de sinergias entre equipos.

Así como éste, se han realizado estudios que destacan los beneficios y la solución de las dificultades que el uso del BIM acarrea, a partir de la confluencia de ambas metodologías, haciendo uso de recolección de testimonios al respecto. Este es el caso de Tauriainen et al., (2016), quienes destacan que la práctica de la comunicación entre diseñadores a menudo se deriva de la era de la gestión del diseño basada en documentos y solo puede adaptarse parcialmente a una nueva forma de trabajar. En la gestión del diseño de edificios, el uso de herramientas de gestión *lean* puede verse como un factor que aumenta el valor para el cliente, mejora las operaciones y elimina las actividades que no agregan valor. Los resultados permiten dar recomendaciones de mejora a los equipos de diseño, asociados con sus problemas respectivos. Las causas importantes de los problemas fueron: un reparto poco claro de responsabilidades entre los diseñadores en equipos, instrucciones BIM inadecuadas, una experiencia y conocimiento BIM insuficientes del gerente de diseño y la falta de comunicación entre el equipo de diseño. Además de una mejor implementación de BIM, con base a este estudio, se recomendaron herramientas de gestión ajustadas, especialmente *big room*, nudos, último planificador y diseño basado en conjuntos, para la solución de los problemas.

De igual manera que estos dos autores, existen diferentes estudios más que proporcionan una evidencia de que la sinergia entre ambas metodologías de construcción, o

filosofías de construcción, que permite resolver los problemas o desventajas que una de las dos conlleva. Esto provoca una mejora en las fases y una optimización de ellas, reduciendo las etapas del proceso de construcción que pueden llegar a ser prescindibles. Este es un indicador claro de qué se debe estudiar, a profundidad, la aplicación de estas dos metodologías en proyectos constructivos a nivel nacional y global. Además, el hecho de que sean metodologías relativamente nuevas demanda su difusión y entrenamiento masivo, con el fin de hacer más eficientes los procesos constructivos.

Lo explicado anteriormente lo apoya el estudio realizado por Brathen en el 2016, donde menciona que el BIM y el *Lean Construction* no son dependientes el uno del otro, es decir, que el *Lean Construction* se podría aplicar sin el BIM y viceversa. Brathen explica que la profundidad de la interconexión entre *Lean* y BIM implica que cualquier empresa que utilice el método de *Lean* debería considerar seriamente utilizar BIM para mejorar sus resultados (Stacks et al., 2010, como se cita en Brathen, 2016). Brathen (2016) continúa explicando que el potencial de mejoramiento de un proceso de construcción es aumentado cuando hay una colaboración entre ambos procesos. Lo previamente mencionado es debido a que la premisa de ambas metodologías es el mejoramiento continuo de la colaboración entre los diferentes actores dentro de una construcción (Brathen, 2016).

De igual manera, también hay que tener en consideración que la combinación de estas dos metodologías puede influenciar el proceso de construcción y la colaboración en equipos en distintos niveles. Los 3 niveles encontrados pueden ser los siguientes (Brathen, 2016):

1. El micro nivel, haciendo referencia a el impacto en los procesos individuales de cada actor.
2. El meso nivel, hablando aquí sobre los procesos y mecanismos dentro de un grupo.
3. El macro nivel, cubriendo los mecanismos y procesos que se hacen de manera general a lo largo de todo el proceso

La conjunción de los 3 niveles permite reconocer la importancia que el trabajo colaborativo tiene cómo uno de los factores más necesarios y críticos para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto de construcción (Xue et al., 2010, como se cita en Brathen, 2016).

Para el caso del autor mencionado anteriormente, él plantea estos 3 niveles encontrados de la siguiente manera:

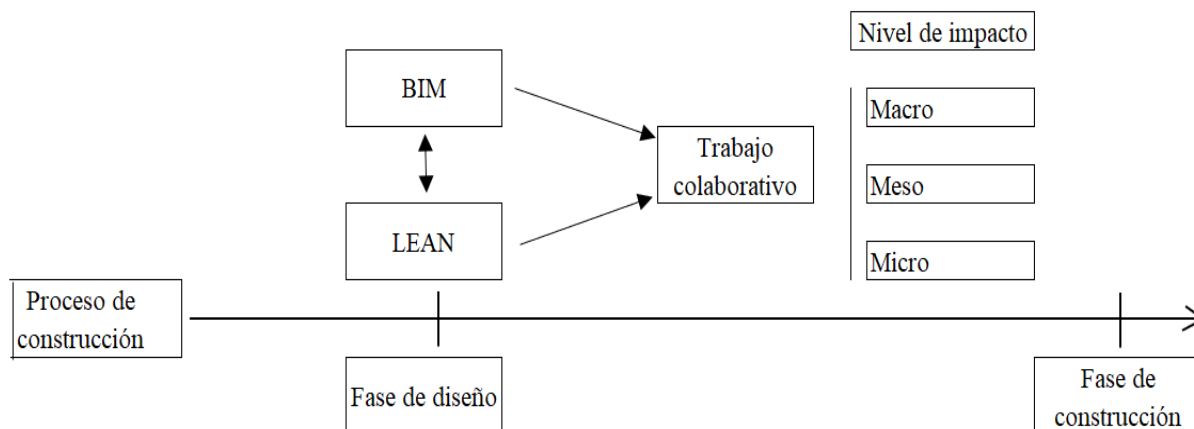


Figura 2. BIM, *Lean Construction* y trabajo colaborativo. Tomado de Brathen (2016).

Brathen (2016) con la implementación de una estrategia combinada de estas dos metodologías en su fase de diseño encontró varios beneficios asociados a una mejora del proceso. El primero y el más evidente es que el BIM y el *Lean Construction* facilitaron el trabajo en equipo. Lo anterior se debió a que era más fácil de acercarse y apoyarse entre los diseñadores de las distintas disciplinas que hacen parte del proyecto (Brathen, 2016). También hubo una comunicación más rápida que a su vez permitió una toma de decisiones en menor tiempo (Brathen, 2016).

Adicionalmente, el Instituto Global de Tecnología Zigurat menciona otros beneficios de incluir una perspectiva que acople tanto el BIM como el *Lean Construction*. Entre las mejoras que ellos mencionan se encuentran: un aumento en la eficiencia, un mejor entendimiento de los valores del cliente lo que se ve reflejado en las fases de diseño y construcción del proceso, reducción de costos y mejor utilización de los recursos (Zigurat, 2018). Sin embargo, ellos también mencionan una serie de factores que hay que tener en cuenta para poder implementar este proyecto en el proceso de construcción (Zigurat, 2018):

- Se requiere de un buen liderazgo en todas las fases.
- Todas las fases deben estar encaminadas a la implementación de BIM y Lean construction
- La colaboración constante y continua entre todas las partes involucradas es lo más esencial para el éxito de proyectos que implemente estas herramientas.

Onyango (2016) explica que a la hora de utilizar en conjunto el BIM con el *Lean*

Construction se encuentran involucradas en la fase de diseño 3 interacciones importantes. La primera está relacionada a cómo múltiples actores de equipos son capaces de modificar y plantear diferentes alternativas a lo largo de distintos programas de diseño (Onyango, 2016). Esto representa una ventaja competitiva a la hora de unir estas dos metodologías, puesto que los cambios se pueden realizar de una manera fácil, demostrando la utilidad del BIM en la generación rápida de diseños alternativos y en los principios del *Lean* en cómo se crea el diseño del sistema de producción y flujo (Onyango, 2016).

La segunda interacción involucrada hace referencia a que distintos usuarios tienen la capacidad de trabajar al mismo tiempo con el mismo modelo, lo que implica que la carga de trabajo se comparte y se distribuye de acuerdo a la especialidad de los diferentes equipos (Onyango, 2016). Esto resulta en un incremento de la calidad puesto que, por ejemplo, los diseños de carácter estructural y arquitectónico se pueden realizar al mismo tiempo y verificar que ambos se acoplen correctamente, sin dejar un elemento sin el otro (Onyango, 2016).

La tercera interacción se explica cuándo se tiene en cuenta que el BIM provee una visualización del flujo del proyecto, es decir, la secuencia de tareas en el sitio de construcción y de esta manera poder identificar las posibles fuentes de conflictos en la producción del día a día (Onyango, 2016). Por otro lado, el *Lean Construction* permite tener un objetivo que cree el flujo de tareas, complementando así el BIM, y ubicando los recursos a lo largo del proyecto sin que sean desperdiciados (Onyango, 2016).

Onyango (2016) también explica que el BIM por sí solo muchas veces no toma en cuenta una planificación de la producción del día a día en los sitios de construcción. Debido a esto, se vuelve usual complementar el proceso de BIM con otro sistema denominado Last Planner System. Este sistema provee tanto una visualización de las capacidades en el proceso y tener un control en el proceso de producción que permite tener resultados a una tasa estable (Onyango, 2016).

Onyango (2016) hace un resumen de cómo se dan las distintas interacciones entre BIM y *Lean Construction* (Ver Figura 3).

| LEAN | INTERACCION CON BIM |
|---|---|
| Eliminación de desperdicios (tiempo, materiales y esfuerzo) | Ensayos de choque estructural |
| | Alternativas de diseño para seleccionar el diseño más adecuado |
| | Simulaciones de rendimiento para la solución energética más eficientes |
| Valor del cliente (lograr los requisitos) | Visualización de la solución que garantiza una comprensión clara del modelo |
| | Análisis para obtener el mejor resultado |
| | Entendimiento entre cliente y proveedor mediante el uso de modelos 3D y cantidades |
| Tiempos de ciclo reducidos | Generación automatizada de cambios y programaciones y cantidades de materiales |
| | Proporcionar información precisa a la prefabricación |
| | Visualización del flujo de trabajo para verificar conflictos de procesos (equipos y tareas) |
| Flujo de trabajo | A través de la elaboración de cronogramas detallados de tiempos de entrega de tareas y materiales |
| Colaboración | Capacidad de trabajar simultáneamente en la misma solución de diseño por diferentes equipos |

Figura 3. Interacciones entre los principios de BIM y *Lean Construction*. Tomado de Onyang,(2016).

Marín (2019) hace también una recopilación del estado del arte que permite tener una perspectiva completa sobre la utilización en conjunto del BIM-Lean. La autora comenta que estos dos procesos son “agentes de cambio fundamentales en la transformación del sistema tradicional de la industria de la construcción” (Marín, 2019). Inicialmente la autora empieza con los trabajos de Eroshkin, Kallaur y Papikian (2016), los cuáles realizan un documento que tiene como objetivo incrementar la eficiencia en la gerencia de proyectos utilizando estrategias como las planteadas en esta investigación (como se cita en Marín, 2019). La importancia de esta investigación se plantea cuando los autores presentan una serie de directrices generales para la aplicación en conjunto de estas dos metodologías (Marín, 2019). Adicionalmente, también se recalca que esto es un proceso que es completamente independiente al país de aplicación (Marín, 2019).

Marín (2019) explica que en la investigación realizada por los 3 autores previamente mencionados también se concluye que a pesar de que una empresa ya esté utilizando la

metodología de *Lean Construction* es completamente posible introducir la metodología de BIM para reforzar y mejorar dicha herramienta. Algunas de las ventajas propuestas por Eroshkin et al., (2016) se pueden apreciar en la figura 4.

| | |
|---|---|
| Gestión de la calidad y el alcance del proyecto | centrándose en el valor del cliente desde el principio hasta el final del proyecto |
| Gestión del tiempo del proyecto | secuenciación ajustada y predecible |
| Gestión de costes del proyecto | reduciendo costos innecesarios |
| Gestión de partes interesadas del proyecto | aumentar el valor para los clientes |
| Gestión de riesgos del proyecto | rápida valoración visual de cambios y alternativas que permite reaccionar rápidamente ante situaciones de riesgo |
| Gestión de comunicaciones de proyectos | mejorar el flujo de información y las comunicaciones entre los socios del proyecto y la cadena de suministro, los miembros del equipo del proyecto y los gerentes, etc. |
| Gestión de recursos humanos de proyectos | flujo estandarizado y controlado de los miembros del equipo del proyecto |
| | menos estrés y trabajo fluido del equipo del proyecto. |
| Gestión de adquisiciones de proyectos | permitiendo el suministro justo a tiempo de materiales |
| | secuenciación de materiales esbelta y predecible |

Figura 4. Beneficios específicos del BIM - Lean de acuerdo al área del proyecto. Tomado de Eroshkin et al., (2016).

Marín (2019) posteriormente explica uno de los primeros casos de implementación conjunta dada por Hamdi y Leite (2012). Marín (2019) menciona que el artículo escrito por dichos autores explica la experiencia de una compañía que después de 10 años de utilizar el BIM decide implementar en sus procesos el *Lean Construction*. Lo más destacable de esta investigación resulta en la aplicación de distintas metodologías para poder reconocer la forma en la el *Lean* puede ayudar a mejorar los procesos de BIM ya establecidos. Entre las herramientas más utilizadas fue la Interaction Matrix y el Capability Maturity Model (Hamdi y Leite, 2012, como se cita en Marín, 2019).

Sin embargo, también se encuentra que existe un vacío a la hora de escoger las herramientas correctas asociadas al *Lean* que se puedan aplicar para ampliar el alcance de los resultados que en el enfoque BIM ya está teniendo en el proyecto (Hamdi y Leite, 2012, como se cita en Marín, 2019). Finalmente, los autores concluyen que la interacción va hacia los dos sentidos, es decir, que el nivel de madurez que se de en una va a influenciar grandemente la correcta implementación de la otra herramienta (Hamdi y Leite, 2012, como se cita en Marín, 2019).

Otra investigación importante que la autora Marín (2019) resalta es la realizada por Mollasalehi et al (2017). Marín (2019) explica que los autores identificaron el fuerte impacto que tiene la falta de manejo de la información a la hora de querer aplicar estas dos metodologías en conjunto. Entonces, se argumenta que los principales problemas de la industria de construcción no se encuentran en la forma en la que se realizan los procesos sino en la falta de comunicación y coordinación dentro de la compañía que quiere aplicar dichos procesos (Mollasalehi et al., 2017, como se cita en Marín, 2019). Por lo tanto, los autores proponen la implementación de un nuevo concepto denominado Information Management a la hora de utilizar el *Lean Construction* y BIM (Mollasalehi et al., 2017, como se cita en Marín, 2019).

De acuerdo a Mollasalehi et al (2017), el Information Management es un proceso que se encarga de manejar los procesos y sistemas que crean, adquieren, organizan, almacenan, distribuyen y usan información (Detlor, 2010, como se cita en Mollasalehi, 2017). Este proceso permite aumentar la eficiencia y la efectividad del acceso, procesamiento y uso de la información dentro de una organización (Mollasalehi et al., 2017). En el momento que el Information Management interactúa con el BIM-*Lean*, se producen una serie de beneficios que permiten un mejoramiento instantáneo de los procesos. Sacks et al (2010), como se cita en Mollasalehi et al (2017), identifica 5 principios claves del *Lean Construction* que están demostrados que tienen la mayor interacción con las funcionalidades del BIM que están relacionadas con el Information Management. Los 5 principios encontrados son los siguientes:

1. Reducción de la variabilidad.
2. Reducción del ciclo del tiempo.
3. Incremento de la flexibilidad.
4. Verificación y validación.

5. Utilización de la gestión visual.

La forma en la que estos 5 principios claves interactúan con el BIM-Lean está mostrada en la figura 5, realizada por Mollasalehi et al. (2017).

Marín (2019) termina con la investigación realizada por Rischmoller et al. (2018). De acuerdo a la autora, ahí se muestra “la homologación del concepto de Diseño y Construcción Virtual VDC, con la metodología BIM” (Marín, 2019, p.p 7). Por otra parte, también se demuestra cómo un modelo de sistema de Integrated Project Delivery puede aumentar aún más los niveles de integración para el diseño y la construcción virtual (Rischmoller et al., 2018, como se cita en Marín, 2019).

Rischmoller et al. (2018) explican que el VDC es el uso de modelos de rendimiento multidisciplinarios en los proyectos de construcción y diseño, incluyendo el producto, los procesos de trabajo y la organización, con el fin de apoyar los objetivos del proyecto. Esto apoya fuertemente al BIM-Lean debido a que el VDC es una manera eficiente para que los equipos del proyecto puedan integrar en conjunto el conocimiento que tienen y crear nueva información que ellos necesitan para acoplar los sistemas de construcción (Rischmoller et al., 2018).

| Interacción de BIM y Lean | | Desafíos de la gestión de la información/Problemas de diseño de la construcción | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|---|-----------|-----|---------|---------|---------|-----------------------------------|-----------|-----------|---------|---------|---------|--|---------|-----------|-----------|-----------|---------|--------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|-----|
| Principios Lean | Funcionalidades de BIM | 1. Sistemas o herramientas | | | | | | 2. Información | | | | | | 3. Personas | | | | | | 4. Política y estrategia | | | | | | | |
| | | a | b | c | d | e | f | a | b | c | d | e | f | a | b | c | d | e | f | a | b | c | d | e | f | | |
| Reducir la Variabilidad | visualización | Indirecto | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | |
| Reducir el tiempo del ciclo | | Indirecto | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | |
| aumento de flexibilidad | | Indirecto | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | |
| Utiliza la gestión visual | | Indirecto | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | |
| Verificar y validar | | Indirecto | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | |
| Reducir la Variabilidad | Programación 4D y planificación de la secuencia de construcción | Directo | Directo | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| Reducir el tiempo del ciclo | | Directo | Directo | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| aumento de flexibilidad | | Directo | Directo | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| Utiliza la gestión visual | | Directo | Directo | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| Estandarizar | | Directo | Directo | N/A | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| Reducir la Variabilidad | Colaboración y comunicación | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| Reducir el tiempo del ciclo | | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| aumento de flexibilidad | | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| Utiliza la gestión visual | | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| Verificar y validar | | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A |
| Estandarizar | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | |
| Reducir la Variabilidad | Dirección de choques | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Indirecto | Indirecto | N/A | Indirecto | N/A |
| Reducir el tiempo del ciclo | | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Indirecto | Indirecto | N/A | Indirecto | N/A |
| Verificar y validar | | Directo | Indirecto | N/A | N/A | Directo | N/A | Directo | Directo | Indirecto | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Directo | Indirecto | Indirecto | N/A | Directo | N/A | Indirecto | Indirecto | Indirecto | N/A | Indirecto | N/A |
| | | a) Falta de comunicación y coordinación | | | | | | b) Documentación insuficiente | | | | | | c) Distribución desequilibrada de recursos | | | | | | | | | | | | | |
| | | d) Información de entrada deficiente o faltante | | | | | | e) Toma de decisiones poco fiable | | | | | | f) Cambios de diseño | | | | | | | | | | | | | |

Figura 5. Interacción de BIM-Lean para mejorar el Information Management. Tomado de Mollasalehi. (2017).

Ahora, complementando la información de la implementación del BIM-Lean Construction en Colombia hay diversos casos de estudios que demuestran las ventajas de estas técnicas y también sus limitantes. Un ejemplo de esto es el de Gómez et al. (2019) que aplicó en conjunto estas dos metodologías en un proyecto residencial apoyado por la Universidad de los Andes. Este proyecto residencial consistía en un edificio de 25 pisos, 3 sótanos y 281 unidades (Gómez-Sanchez et al., 2019). En este proyecto se contempló la posibilidad de poder reforzar los resultados usuales del BIM con técnicas del *Lean Construction*, teniendo como una serie de interacciones importantes.

La primera interacción que Gómez et al. (2019) encontraron fue en la evaluación de restricciones. Debido a que todo el equipo estaba conformado por personas con distintos antecedentes y experiencias, el proceso de modelamiento tuvo ciertas dificultades adicionales para los planeadores del proyecto debido a que existía poco rigor en los planos de los diseños detallados (Gómez-Sanchez et al., 2019). Pero, ya que esto ocurrió en las primeras etapas del proyecto, los equipos pudieron discutir de manera detallada y avanzada antes de proseguir con el proyecto, situación que ocurrió muchas veces debido al trabajo en conjunto día a día (Gómez-Sanchez et al., 2019). También, se encontró que las reuniones constantes permitieron que mayor cantidad de información estuviese disponible para los equipos y por lo tanto se tomaron mejores y más rápidas decisiones.

La segunda interacción se encuentra en el empoderamiento del equipo (Gómez-Sánchez et al., 2019). Esto se evidencia en que en ocasiones la revisión en conjunto de los modelos y los parámetros del mismo permitió simplificar la comprensión de los diseños (Gómez-Sánchez et al., 2019). Lo anterior permitió tener objetivos de planeación mucho más realistas además de alcanzables (Gómez-Sanchez et al., 2019). Adicionalmente, aquí se mostró la importancia de que todos los equipos estén en sincronía con sus labores, para tener un buen flujo de producción que a su vez permitió alcanzar los requerimientos del cliente (Gómez-Sánchez et al., 2019).

La tercera interacción de la cual es importante hablar es sobre las alternativas de diseño y la simulación de la construcción (Gómez-Sánchez et al., 2019). Debido a las características del suelo en dónde se realizaría la construcción, el equipo debió simular distintas alternativas de excavación por las restricciones que el suelo le imponía a la construcción (Gómez-Sanchez et al., 2019). También, Gómez et al. (2019) explica que se diseñaron distintos modelos para mostrar la secuencia de producción de la fachada, las estructura, los cimientos y los muros

internos de la construcción para evaluar la constructibilidad del proyecto y guiar a los constructores en la mejor manera de llevar a cabo sus actividades.

Otra interacción importante fue la identificación de conflictos. Según Gómez et al. (2019), en el caso de este proyecto el proceso de identificación de conflictos fue relativamente rápido debido a que todos los diseños y su ejecución seguían un protocolo estricto de identificación de conflictos (Gómez-Sánchez et al., 2019). Sin embargo, la corrección de diseños era un proceso bastante consumidor y poco eficiente, por lo que se llegó a la conclusión de que no era algo práctico (Gómez-Sánchez et al., 2019). Gómez et al. (2019) por tal decidieron que cada diseñador debe realizar las correcciones de su propia disciplina para que haya un mejor flujo de trabajo (Gómez-Sánchez et al., 2019).

La quinta interacción de la que Gómez et al. (2019) hablan sobre la automatización de la extracción de cantidad. Esto fue uno de los puntos donde la sinergia resultó con mayores ventajas, puesto que se ahorró tiempo en actividades improductivas y se redujo la variabilidad del proceso (Gómez-Sánchez et al., 2019). Además, después de corregir los diseños en las reuniones de detección de conflictos, las cantidades se actualizan constantemente permitiendo así que la ejecución de la construcción refleje lo que se definió en los inicios del proyecto además de llevar un control del progreso (Gómez-Sánchez et al., 2019). En Colombia, es común que la variabilidad de la extracción de cantidad sea alta, debido a la poca estandarización de los criterios con los que se estima, haciendo que las herramientas dadas únicamente por BIM sean ineficientes (Gómez-Sánchez et al., 2019).

Otro caso de estudio importante es el que plantea Osorio-Gómez et al. (2020), quienes aplican la técnica de BIM-Lean en una importante empresa de construcción colombiana que cuenta con proyectos a lo largo de todo el país y cuenta con subsidiarias en 5 de las ciudades más importantes de Colombia. Osorio-Gómez et al. (2020) implementa esta metodología a través de 3 fases importantes:

1. La fase de diagnóstico.
2. Evaluación y mejoramiento de los procesos.
3. El monitoreo y control.

En la primera fase, la fase de diagnóstico, Osorio-Gómez et al. (2020) explica que es necesaria para entender cómo está estructurada la empresa y la manera en la que actualmente están entregando los proyectos. También se hace una evaluación del nivel de madurez que la

empresa tiene, con el objetivo de saber cómo mejorar los procesos (Osorio-Gómez et al., 2020). Por otra parte, es necesario identificar las ineficiencias en los procesos tales como transporte, comunicación, proveedores, contratistas o herramientas (Osorio-Gómez et al., 2020). Aquí se identifican cuáles eventos añaden valor al proceso y cuáles no (Osorio-Gómez et al., 2020). Adicionalmente, se deben hacer entrevistas en todas las áreas para recolectar información, desde los managers seniors hasta los trabajadores (Osorio-Gómez et al., 2020). Lo anterior con el fin de tener una vista holística de la empresa y poder identificar los actores claves en la operación de la empresa (Osorio-Gómez et al., 2020).

Sin embargo, para Osorio-Gómez et al. (2020) lo descrito no es suficiente para esta primera etapa de diagnóstico. Tal como se ve en la figura 6, ellos añaden dos secciones importantes: un análisis interno llamado ciclo PIC (Procesos, Información y Cultura) y un análisis externo que lo comprenden los clientes y el contexto.

El análisis interno o Ciclo PIC se realiza de la siguiente manera de acuerdo a Osorio-Gómez et al. (2020):

1. Procesos: Ayuda a comprender las actividades que se realizan dentro de cada departamento y a entender la parte de los procesos en la que los distintos actores están involucrados además de comprender cómo interactúan las distintas divisiones entre sí.
2. Información: Aquí se obtiene un entendimiento general de las comunicaciones dentro de la empresa, identificando los canales más usados, si la información llega a tiempo o si el flujo de información es ineficiente. También es una forma para saber cómo la empresa procesa la información y la utiliza para control de calidad.
3. Cultura: Al analizar el entorno cultural de la empresa se puede comprender cómo son tomadas las decisiones dentro de ella, la jerarquía y cómo se causan los tráficós en estos procesos

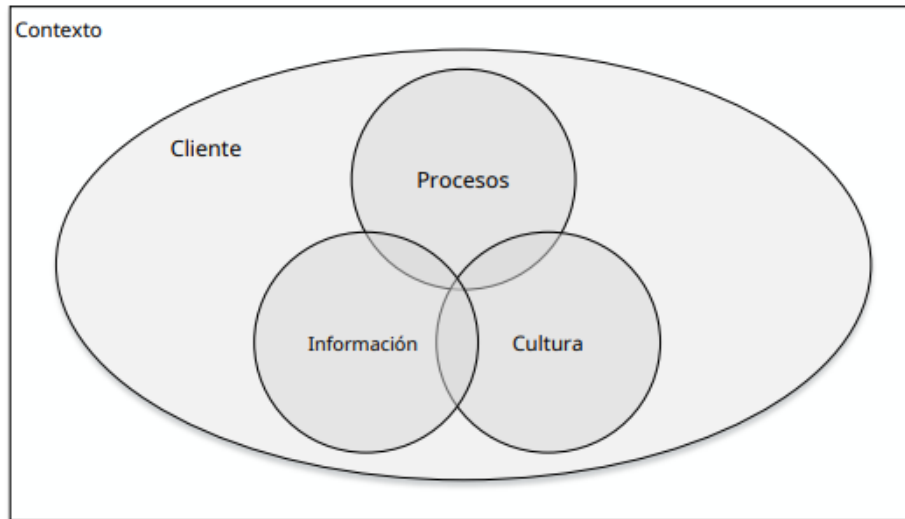


Figura 6. Ciclo PIC, Cliente y Contexto. Tomado de Osorio-Gómez et al. (2020).

Por otro lado, se tiene el análisis externo, en donde se comprende al cliente y el contexto (Osorio-Gómez et al., 2020). En la parte del cliente se intenta alinear sus expectativas con el valor ofrecido por la empresa, identificando dónde se encuentran las brechas más predominantes dentro del mercado (Osorio-Gómez et al., 2020). Aparte del cliente se encuentra el contexto, que permite proponer el ambiente dentro del cuál se implementará las estrategias necesarias para ejecutar el proyecto (Osorio-Gómez et al., 2020). Aquí se tienen en cuenta las políticas, economía, cultura, medio ambiente y problemas legales (Osorio-Gómez et al., 2020). Entender todo esto permite ver en qué situaciones durante la mejora del proceso este contexto crea barreras-oportunidades a nivel local, nacional e internacional (Osorio-Gómez et al., 2020).

La segunda fase hace referencia a la evaluación y mejoramiento de los procesos, como se mencionó anteriormente. Osorio-Gómez et al. (2020) explica que ya después de analizar los procesos dentro de la empresa e identificar qué tipo de optimización se hará, las mejoras deben basarse en los principios de *Lean Construction* y su interacción con BIM (Sacks et al., 2010, como se cita en Osorio-Gómez et al., 2020). De esta manera, es importante proporcionar un plan para mejorar cada paso del proceso, siendo este lo más adecuado y cercano a la realidad de la compañía posible (Osorio-Gómez et al., 2020). Estas mejoras basadas en BIM-Lean deben añadir valor a la empresa y ser aceptadas, además de que el plan debe ser concreto y tener objetivos medibles que garanticen un continuo mejoramiento del proceso (Osorio-Gómez et al., 2020). El diagrama de flujo de la figura 7 es el que Osorio-Gómez et al. (2020) recomiendan para tener en cuenta todas estas mejoras utilizando el enfoque *Lean Construction* en conjunto

con el de BIM.

La última fase habla sobre el monitoreo y el control, en dónde la compañía empieza a medir y monitorear el cumplimiento de los objetivos establecidos (Osorio-Gómez et al., 2020). Se deberían realizar monitoreos individuales, puesto que cada aspecto mejorado se puede rastrear a lo largo de la vida del proyecto y su organización estructural (Osorio-Gómez et al., 2020). Se recomienda hacer puntos de control periódicos que permitan medir estos cambios y cómo está afectando la productividad, además de que el proceso de mejoramiento continuo debe continuar para seguir haciendo mejoras que se puedan identificar a la hora de ejecutar el proyecto (Osorio-Gómez et al., 2020).

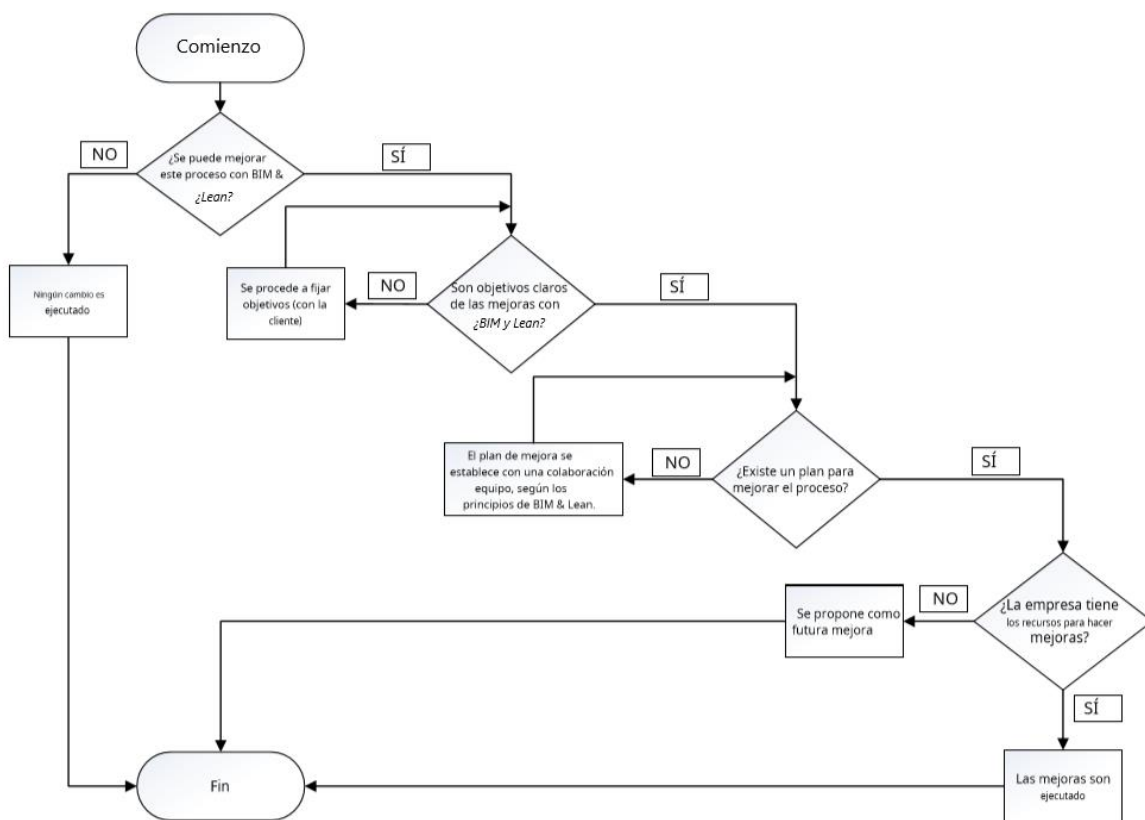


Figura 7. Diagrama de flujo para el mejoramiento de procesos utilizando BIM y Lean Construction. Tomado de Osorio-Gómez et al. (2020).

A la conclusión que pudieron llegar los autores luego de implementar estas estrategias fue que una sinergia entre Lean Construction y BIM permite mejorar la cadena de valor de la compañía, mejorando así los procesos en todos los departamentos (Osorio-Gómez et al., 2020). Ellos argumentan que al tener una cadena de valor optimizada se va tener una ventaja

competitiva entre los competidores y mejora la percepción que el cliente tenga de la empresa (Osorio-Gómez et al., 2020). Por lo tanto, aquellas compañías que quieran tener una ventaja en el mercado en el que se desempeñan deben implementar este enfoque en conjunto (Osorio-Gómez et al., 2020). Otra conclusión interesante que los autores plantean es la involucración directa de los contratistas y proveedores en el proceso de implementación es esencial, puesto que la esfera externa tiene un alto impacto en la compañía y cómo ellos pueden ser parte de las mejoras propuestas (Osorio-Gómez et al., 2020).

1.4 METODOLOGÍA TRADICIONAL

Andrade Sevilla, (2020) menciona que, en la práctica, el enfoque tradicional es lineal, lo que significa que debe esperar hasta que se complete una fase del proyecto antes de pasar a otra. Se pueden identificar cuatro fases que están involucradas en la mayoría de los proyectos, como se describe a continuación.

La primera etapa, ver Figura 8, un proyecto tradicional parte de conocer las ideas o necesidades del cliente, se realiza el diseño arquitectónico y una vez que es aprobado por el cliente, se realizan las correcciones y modificaciones necesarias en el diseño. (Andrade Sevilla, 2020)

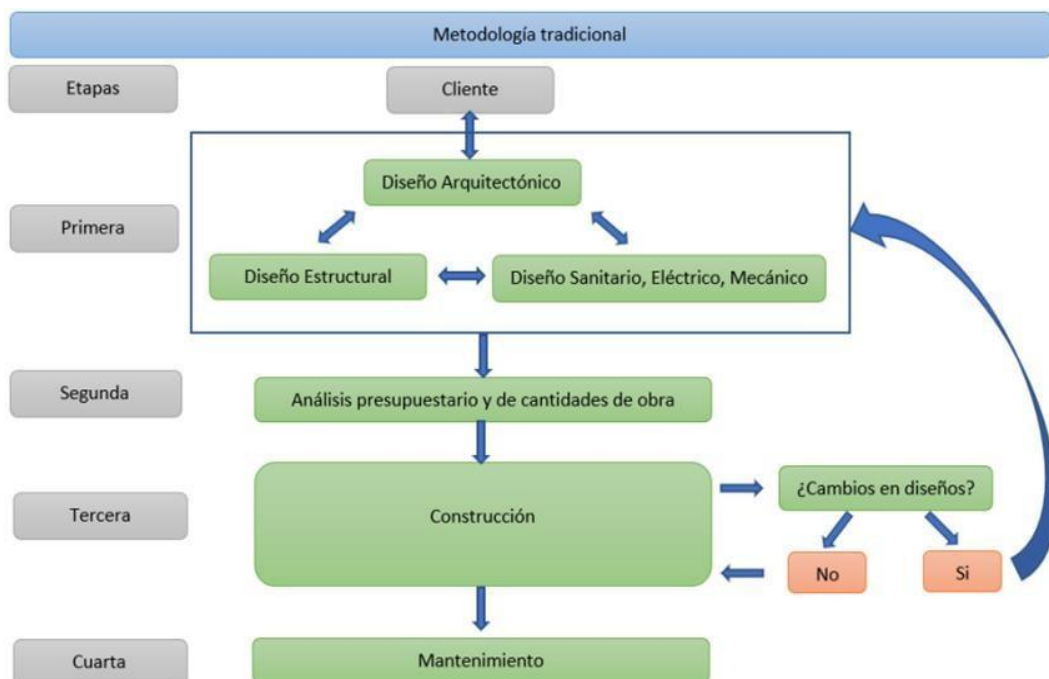


Figura 8. Desarrollo de un proyecto aplicando metodología tradicional. (Andrade Sevilla, 2020).

Posteriormente, el control del proyecto pasa a manos del ingeniero, quien es responsable de diseñar de acuerdo a los planos arquitectónicos (Andrade Sevilla, 2020). Si se descubren dificultades o inconvenientes durante el proceso de diseño que él no puede resolver; se requieren cambios en el diseño del edificio, por lo que es necesario coordinar una reunión entre el cliente, el arquitecto y el ingeniero, para llegar a un acuerdo entre todos y proceder con el proyecto. En este punto se genera una segunda versión del documento de arquitectura, que debe contener todas las modificaciones solicitadas.

En caso de que exista alguna dificultad entre la arquitectura y las ingenierías, se debe volver a revisar los diseños y coordinar una solución satisfactoria que involucre el menor cambio posible (Andrade Sevilla, 2020). Los nuevos planos acarrearán un retrabajo para los ingenieros y sus asistentes, invirtiendo más horas en el proyecto, haciendo que su precio suba.

Segunda etapa, una vez revisados y terminados los diseños definitivos de arquitectura e ingenierías, se procede a calcular cantidades de obra en base a los planos y se realiza un análisis presupuestario referencial del proyecto (Andrade Sevilla, 2020), con base en este se determina la viabilidad del proyecto.

Hasta aquí el proyecto tiene complicaciones manejables, pero si el proyecto es una obra de gran magnitud, los diseños son más complicados y elaborados, lo que conlleva a rehacer documentaciones técnicas, planos y cálculos necesarios para terminar el diseño. (Andrade Sevilla, 2020)

La tercera parte consta de la construcción del proyecto, que puede estar a cargo de los mismos diseñadores o por contrato a una compañía constructora (Andrade Sevilla, 2020). Si está a cargo de los diseñadores, estos tienen un conocimiento más profundo acerca del proyecto y las modificaciones necesarias pueden realizarlas en cualquier momento, pero si la construcción está a manos de una compañía constructora, esta debe tener pleno conocimiento del proyecto y en caso de necesitar algún cambio, debe hacerlo con la autorización del personal autorizado.

A medida que avanza la obra, se van detectando errores de interferencia espacial o cronológica, que deben ser resueltos de manera inmediata, si éstos no se detectan a tiempo pueden llegar a ser muy costosos, encareciendo el proyecto (Andrade Sevilla, 2020).

La cuarta parte consta del mantenimiento y operación. Muchas veces el mantenimiento no es tomado en cuenta o es considerado, pero no ejecutado, razón por la cual los proyectos disminuyen su vida útil (Andrade Sevilla, 2020). En cuanto a la operación, por lo general el

operario se guía por su experiencia.

1.5 COMPARACIÓN DE METODOLOGÍA TRADICIONAL Y LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SINERGA BIM-LEAN

A continuación, en el cuadro 1, se identifican las diferencias, ventajas y desventajas más relevantes de las metodologías descritas anteriormente.

| | METODOLOGÍA TRADICIONAL | METODOLOGÍA BIM - LEAN |
|--------------------|---|--|
| DIFERENCIAS | Se concibe al proyecto como uno solo de grandes dimensiones y estructura definida; el proceso es rígido y no cambia (Molina Montero, Vite Cevallos, & Dávila Cuesta, 2018) | Presenta como principal particularidad la flexibilidad, los proyectos en desarrollo son subdivididos en proyectos más pequeños, son altamente colaborativos. (Cadavid, Fernández Martínez, & Morales Vélez, 2013) |
| | Cada disciplina crea un juego de planos, usualmente se realizan en CAD, siendo AutoCAD. (Andrade Sevilla, 2020) | Pone en marcha la metodología BIM en conjunto con estrategias como el modelado 3D, 4D, 5D, entre otras más. (Cerón y Liévano, 2017) |
| | Su enfoque es lineal, es decir, debe esperar hasta que se complete una fase del proyecto antes de pasar a otra. (Andrade Sevilla, 2020) | Distintos usuarios tienen la capacidad de trabajar al mismo tiempo con el mismo modelo, lo que implica que la carga de trabajo se comparte y se distribuye de acuerdo a la especialidad de los diferentes equipos (Onyango, 2016). |
| | Generalmente se dialoga en reuniones de área técnica, por correo electrónico, teléfono, teleconferencias, cualquier tipo de comunicación es válida. (Andrade Sevilla, 2020) | Proporcionar información correcta en tiempo real. (Garrido et al., 2015). Además, también enriquece la comunicación y simplifica la resolución de problemas (Tillman & Sargent, 2016) |

Cuadro 1. Comparación de diferencias entre metodología tradicional vs metodología BIM-LEAN, Autoras, (2022).

| | METODOLOGÍA TRADICIONAL | METODOLOGÍA BIM - LEAN |
|-----------------|--|---|
| VENTAJAS | Focalizan en documentación, planificación y procesos. (Plantillas, técnicas de administración, revisiones, etc.). (Figueroa, Solís, & Cabrera, 2018) | Ayuda a la toma de decisiones en la planificación a corto plazo, ya que puede proporcionar información correcta en tiempo real. (Garrido et al., 2015) |
| | | Mejora significativamente la visualización del proceso y apoya las actividades de planificación y coordinación. (Clemente y Cachadinha, 2013). |
| | | Permite mejorar la cadena de valor de la compañía, mejorando así los procesos en todos los departamentos (Osorio-Gómez et al., 2020) |
| | Se maneja software de fácil acceso como CAD. | Reduce las etapas del proceso de construcción que pueden llegar a ser prescindibles |
| | | Los diseños de carácter estructural y arquitectónico se pueden realizar al mismo tiempo y verificar que ambos se acoplen correctamente, sin dejar un elemento sin el otro (Onyango, 2016). |
| | | El proceso de identificación de conflictos es relativamente rápido. (Gómez-Sanchez et al., 2019) |
| | Se conoce su manejo e implementación. | Ahorra tiempo en actividades improductivas y se reduce la variabilidad del proceso (Gómez-Sanchez et al., 2019) |
| | | Mejorar el flujo de información y las comunicaciones entre los socios del proyecto y la cadena de suministro, los miembros del equipo del proyecto y los gerentes, etc. (Eroshkin et al., 2016) |
| | | Permite manejar un flujo estandarizado y controlado de los miembros del equipo del proyecto. (Eroshkin et al., 2016) |
| | | Reducción del ciclo del tiempo. (Mollasalehi et al., 2017) |

Cuadro 2. Comparación de las ventajas entre metodología tradicional vs metodología BIM-LEAN, Autoras, (2022).

| | METODOLOGÍA TRADICIONAL | METODOLOGÍA BIM - LEAN |
|--------------------|--|--|
| DESVENTAJAS | La evaluación de riesgos es compleja. (Figuroa, Solís, & Cabrera, 2018). | Desconocimiento de la sinergia conjunta de BIM y Lean Construction. |
| | Documentación extensa. (Cadavid et al., 2013) | |
| | En el caso de proyectos de gran magnitud un simple cambio en cualquiera de los diseños involucraría cambio en los demás, lo que conlleva a volver a rehacer documentaciones técnicas, planos y cálculos necesarios para terminar el diseño. (Andrade Sevilla, 2020). | Es necesario contar con profesionales capacitados. (Duarte, 2014) |
| | El mantenimiento en muchas ocasiones no es considerado dentro del diseño del proyecto | El costo inicial de hardware y software también es un problema en el presupuesto, sumándole el costo en educación y entrenamiento (Duarte, 2014) |
| | Limita la visualización del proyecto. | |

Cuadro 3. Comparación de las desventajas entre metodología tradicional vs metodología BIM-LEAN, Autoras, (2022).

Las metodologías tradicionales encaminan los proyectos de forma unificada, pero completamente desconectada en cuanto a procesos y una única base de datos. Con este método debe dibujarse plano por plano. Estos planos se refieren a un mismo proyecto, pero no están directamente vinculados ni relacionados directamente con él, lo que básicamente significa que cualquier cambio o modificación que se realice debe hacerse individualmente en todos los planos. Mientras que la metodología BIM-Lean proyecta una mejor visualización y control sobre las obras.

Las primeras ventajas de utilizar las dos metodologías en conjunto se pueden evidenciar a corto plazo, ya que permite una rápida toma de decisiones y proporcionar información correcta en tiempo real. Adicionalmente, el BIM-Lean simplifica la resolución de problemas y añade valor a la compañía al aumentar la fiabilidad y al reducir la variabilidad del proceso en las etapas de diseño y construcción, principalmente. En resumen, al utilizarla al mismo tiempo se lleva a tener un mejor desempeño en el proyecto.

Otra ventaja significativa es que al utilizarla juntas se pueden resolver los problemas o debilidades que cada una individualmente puede tener. El BIM-Lean basa sus principios en el

trabajo colaborativo constante que cada departamento dentro del proyecto debe tener el uno con el otro, además de fuertes y rápidos canales de distribución de información. Todo lo anterior lleva a aumentar la satisfacción del cliente. Por otro lado, estas dos técnicas juntas permiten identificar fácilmente los posibles focos de conflictos para poder ser resueltos y así aumentar el flujo de trabajo y disminuir las interrupciones.

Sin embargo, también se pueden encontrar limitaciones debido a la falta de personal preparado que sepa acoplar ambas metodologías, la necesidad de un buen liderazgo a lo largo de todo el proyecto que permita encaminar el trabajo en equipo y la comunicación entre ellos o la poca capacidad que tenga la compañía para adaptarse a los nuevos cambios estructurales que implicaría utilizar estas nuevas técnicas.

2. CONCLUSIONES

A lo largo de toda esta monografía se llevó a cabo una recopilación bibliográfica de la información asociada a la utilización de las herramientas en conjunto de BIM con la de *Lean Construction*. Esta necesidad de ponerlas a trabajar juntas nace como respuesta a la creciente preocupación de mejorar la productividad en la industria de la construcción. Al mejorar la productividad se mejorarían los procesos y se utilizarían las estrategias necesarias para maximizar los recursos dentro de una compañía de construcción. De ahí, que hoy en día se utilicen estas técnicas novedosas para alcanzar este objetivo.

De esta manera, a través de toda la revisión bibliográfica realizada se puede concluir que se identificaron y cumplieron los aspectos más importantes de los objetivos propuestos. En este caso, se reconocieron cuáles son los efectos de aplicar el sistema de gestión de BIM-Lean en proyectos de edificación, basados principalmente en casos de estudios de autores que hayan utilizado esta metodología. Adicionalmente, se encontraron las ventajas individuales que cada metodología tiene por sí sola y luego se identificaron las ventajas de usarlas en conjunto. También, se compararon las fortalezas y debilidades de esta nueva técnica: Dentro de las fortalezas a resaltar de la metodología BIM-Lean se mencionó la toma de decisiones en la planificación a corto plazo, mejora significativamente la visualización del proceso, reduce las etapas del proceso de construcción, permite mejorar la cadena de valor de la compañía, ahorra tiempo en actividades improductivas y se reduce la variabilidad del proceso, etc.; sin embargo, las limitaciones de esta nueva metodología son el desconocimiento de la misma siendo necesario un equipo capacitado y el costo inicial de hardware y software que también es un problema en el presupuesto. Así mismo, se mencionaron las formas de aplicar esto en Colombia.

Al hablar específicamente de la metodología de BIM se encuentra que en Colombia es común que los proyectos de edificación tengan bajo nivel de coordinación, por lo que el BIM en conjunto con otras técnicas como el modelado 3D, 4D y 5D permiten aumentar este nivel en los proyectos. De esta manera, se evita una pérdida de recursos significativa y se tiene un mejor aprovechamiento de los mismos. Otras aplicaciones que se pueden concluir de la investigación sobre las ventajas que tiene el BIM en Colombia son: optimización de los diseños, identificación de los riesgos y evaluación de proyectos, agilidad a la hora de tomar decisión y optimización de los procesos de construcción.

Sin embargo, entre las limitaciones que tiene esta metodología en Colombia y en Latinoamérica en general es el gran desconocimiento para la aplicación de la misma que existe. Debido a esto, es común que pocas edificaciones utilicen este tipo de metodología en sus proyectos. Otra limitación que impone la utilización del BIM es la falta de profesionales capacitados en esta área para implementarla de manera satisfactoria en las compañías de construcción. Agregándole a lo anterior, el costo para la implementación de esta estrategia puede ser relativamente alto, siendo esta una razón por la que muchas empresas prefieren no utilizarla.

Por su parte, el *Lean Construction* se ha enfocado principalmente en minimizar el desperdicio de materiales, recursos, esfuerzo y tiempo dentro del proceso de construcción con el objetivo de maximizar el valor del proyecto. A su vez, esta metodología se encarga de aumentar el valor del flujo de trabajo reduciendo las actividades que no agregan valor a la producción en general.

Otras aplicaciones encontradas para el *Lean Construction* radica en reducir demoras o la poca eficiencia en los procesos internos, prevenir y eliminar fallas en los equipos y la constante búsqueda de la mejora en la calidad. En Colombia, se concluye que, a través de la utilización de técnicas sencillas como un planificador, se industrializa el proceso y se producen resultados de mayor calidad y satisfacción para el cliente. Además, el *Lean Construction* les permite a los proyectos de construcción en Colombia tener un mejor control de los tiempos no productivos y crear alternativas ingenieriles que aprovechen mejor este tiempo previamente desperdiciado.

Al analizar cada estrategia de manera separada, se puede concluir que ambas estrategias se pueden complementar la una con la otra y por lo tanto aumentar aún más la productividad del proyecto de construcción. El modelo de BIM-Lean representa una técnica para mejorar exponencialmente la productividad de una empresa de construcción. Esta metodología permitiría avanzar más rápidamente en los proyectos que se desarrollen dentro de Colombia además de mostrar que realmente funciona para tener un mejor aprovechamiento de los recursos de los que la empresa disponga.

3. RECOMENDACIONES

Finalmente, para futuras investigaciones se recomienda realizar estudios enfocados a aplicar esta metodología en conjunto a grandes edificaciones colombianas que necesiten constante mantenimiento, además de hacer más estudios de casos de cómo se pudo haber mejorado el proceso de construcción en proyectos ya existentes pero que aún no se encuentren terminados. Además, se recomienda la revisión en conjunto para una mayor comprensión de los diseños, que conlleven a una rápida toma de decisiones o solución de conflictos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, T. W., Silva, E. N., & Mello, L. C. (2017). BIM and Lean Construction: The Evolution Obstacle in the Brazilian Civil Construction Industry. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, Vol. 7, No. 5.
- Andrade Sevilla, r. A. (2020). *Análisis en la variación en cantidades de obra y presupuesto entre la metodología tradicional y metodología bim, caso de estudio: edificio de carrera de arquitectura, unach. Quito: escuela politécnica nacional.*
- Andújar Montoya, M. D., Galiano Garrigós, A., Echarri Iribarren, V., & Rizo Maestre, C. (2020). BIM- LEAN as a Methodology to Save Execution Costs in Building Construction—An Experience under the Spanish Framework. *Applied Sciences*, pp. 341-350.
- Araque, G., García, D., & Aguirre, E. (2017). *La metodología lean Construction y el análisis de pérdidas en el sector civil colombiano: Un estudio de caso.* Desarrollo e Innovación en Ingeniería, 2(1), 378-391.
- Ayala Vilela, O., & Temoche Rosillo, V. (2017). *METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE GESTIÓN PARA LA MEJORA CONTINUA DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN.* Piura, Perú.: (Trabajo de Suficiencia Profesional de licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil.
- Bhat, V., Trivedi, J. S., & Dave, B. (2018). Improving Design Coordination with Lean and BIM an Indian Case Study. *Proc. 26 Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC)*, (págs. pp. 1206–1216). Chennai, India: González, V.A.
- Brathen, K. (2016). *Combining BIM and Lean Construction: Towards enhanced collaborative working.* Extraído de: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC29324.pdf.

- Cadavid, A. N., Fernández Martínez, J. D., & Morales Vélez, J. (2013). Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software. Retrieved from https://uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-11-no-2/4_articulo_vol_11_2.pdf
- Choquesa L., L. S. (2019). *Mejora de la productividad en proyectos de edificación mediante el sistema de gestión BIM-LEAN*. Tacna- Perú: Tesis de ingeniería civil. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Clemente, J., & Cachadinha, N. (2013). *Bim-Lean synergies in the management on mep works in public facilities of intensive use—A case study*. IGLC 21, 751-759.
- Cerón, I. & Liévano Ramos, D. (2017). *Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida en un proyecto*.
- Dave, B., Kubler, S., Pikas, E., Holmström, J., Singh, V., Främbling, K., & Koskela, L. (2015). Intelligent Products: Shifting the Production Control Logic in Construction (With Lean and BIM). *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia.
- Duarte, N. (2014). *Razón de costo efectividad de la implementación de la metodología BIM y la metodología tradicional en la planeación y control de un proyecto de construcción de vivienda en Colombia*.
- Eroshkin, S., Kallaur, G., & Papikian, L. (2016). *Lean Construction and BIM: Complementing Each Other for Better Project Management*. Review of Business and Economics Studies, 4(4), 17-22
- Fakhimi, A., Majrouhi Sardroud, J., & Azhar, S. (2016). How can Lean, IPD and BIM Work Together? *33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2016)*, (págs. pp. 67-75). Auburn, AL, USA.

Figuerola, R. G., Solís, C. J., & Cabrera, A. A. (2018). METODOLOGÍAS TRADICIONALES VS. METODOLOGÍAS ÁGILES. Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Ciencias en Computación.

García, O. (2012). *Aplicación de la metodología Lean Construction en la vivienda de interés social* (Bachelor 's thesis, Universidad Ean).

García, C. & Torres, É. (2021). *Implementación de las metodologías Bim 5D y líneas de balance en la optimización de la planeación de proyectos de viviendas de interés social, caso de estudio: mz. 72 barrio Bicentenario*. Universidad de Cartagena.

Gómez Cabrera, A., & Morales Bocanegra, D. C. (2015). Análisis de la Productividad en la Construcción de Vivienda basada en Rendimientos de Mano de Obra. *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 21-31. doi: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.02>

Gómez Cabrera, A., Echeverry Hoyos, J. D., Giraldo Palma, M. X., Otálora Sanchez, C., & Cano Morales, M. (2012). Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital. *Ingeniería de Construcción*, Vol. 27 N°2 PAG 35 - 53.

Gómez, A., Quintana, N., & Ávila, J. (2014). Simulación de eventos discretos y líneas de balance aplicadas al mejoramiento del proceso constructivo de la cimentación de un edificio. *Ingeniería y ciencia*, vol. 11, no. 21, pp. 157–175. doi:10.17230/ingciencia.11.21.8

Gómez-Sánchez, J.M., Ponz-Tienda, J.L. and Romero-Cortés, J.P. (2019). “Lean and BIM Implementation in Colombia; Interactions and Lessons Learned” In: Proc. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC), Pasquire C. and Hamzeh F.R. (ed.), Dublin, Ireland, pp. 1117–1128. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0150>. Available at: <www.iglc.net>.

Gutiérrez, C. (2015). *Metodología de gestión de riesgos con herramientas BIM integradas a*

los principios Lean para la administración de proyectos en la construcción y vida útil de la edificación.

Hamdi, O., & Leite, F. (2012). *BIM and Lean interactions from the BIM capability maturity model perspective: a case study. The University of Texas at Austin.*

Henao, L., Millán, N., & Gomez, J. (2019). *Implementación de la metodología BIM al bloque número 4 de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Ibagué Espinal.*
Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500,12494,15667>.

Hernández, M., Salazar, D., & Hernández, L. (2021). *Formulación metodológica de procesos interdisciplinarios en el campo de la Ingeniería Civil y Arquitectura gestionados a través de BIM en la fase de diseño de proyectos de construcción de empresas en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Colombia.*

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Vol. 72). Stanford: Stanford university.

Landazábal, M., Ruiz, C., Álvarez, Y., & Padilla, H. (2019). *Lean manufacturing: 5 sy TPM, herramientas de mejora de la calidad.* Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia. *Signos: Investigación en sistemas de gestión*, 11(1), 71-86.

Latorre, A., Sanz, C., & Sánchez, B. (octubre-diciembre de 2019). *Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación.* *Informes de la Construcción*, Vol. 71, 556, e313.

Lincoln, F., Syed, A. (2011). *Modern Construction Lean Project Delivery and Integrated Practices.*

López, M. D. R., Grajales, M. H., & Corrales, M. E. V. (2017). *Lean construction–LC bajo pensamiento Lean.* *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 115-128.

- López, L. (2017). *Planteamiento de una estrategia de inclusión de BIM para empresas medianas de arquitectura en la etapa de diseño*. Facultad de Artes.
- Marín, D. (2019). *Estado del arte: Lean Construction & BIM en la cadena de valor de una compañía*.
- Martinez, E., Reid, C., & Tommelein, I. (2019). *Lean construction for affordable housing: a case study in Latin America*. Construction Innovation.
- Mendoza, F., & Ocampo, J. (2020). *Modelo digital en 3d del tramo de las Murallas de Cartagena de Indias, comprendido entre el Baluarte de la Merced y el Baluarte Santo Domingo utilizando metodología Bim para identificar y actualizar las patologías existentes* (Bachelor 's thesis, Universidad de Cartagena).
- Migilinskas, D., Popov, V., Juocevičius, V., & Ustinovichius, L. (2013). *The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation, MBMST 2013. 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013* (págs. 767 – 774). Vilnius Gediminas Technical University, Civil engineering faculty, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania: Procedia Engineering 57.
- Mojica, A., & Valencia, D. (2012). *Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá*.
- Mollasalehi, S., Fleming, A., Talebi, S., & Underwood, J. (2016). *Development of an Experimental Waste Framework based on the BIM/Lean concept in construction design. Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction*, (págs. sect.4 pp. 193–202). Boston, MA, USA.
- Mollasalehi, S., Rathnayake, A., Aboumoemen, A., Underwood, J., Fleming, A., Kulatunga, U., & Coates, P. (2017). *How BIM-Lean Integration Enhances the Information*

Management Process in the Construction Design. 25Th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. doi: 10.24928/2017/0130

Moreno, F., Higuera, J., López, A., Bernal, Y., & Muñoz, J. (2020). *Análisis de la implementación de metodología BIM en edificaciones de baja complejidad en Colombia, mediante IDM y mapas de procesos*. Revista Boletín Redipe, 9(11), 165-191.

Nascimento, D. L., Dominguez Sotelino, E., Gusmão Caiado, R. G., Ivson, P., & Saieg Faria, P. (2017). Synergy between Principles of Lean Thinking and BIM Functionalities in Interdisciplinarity of Management in Industrial Plants. *JOURNAL OF LEAN SYSTEMS*, Vol. 2, N° 4, pp. 83-109.

Nascimento, D. L., Quelhas, O. L., Meiriño, M. J., Caiado, R. G., Barbosa, S. D., & Ivson, P. (2018). FACILITY MANAGEMENT USING DIGITAL OBEYA ROOM BY INTEGRATING BIM-LEAN APPROACHES – AN EMPIRICAL STUDY. *Journal of Civil Engineering and Management*, Volume 24 Issue 8: 581–591.

Olivares Belmar, K. G. (2017). *Exploracion de un marco de planificacion LEAN-BIM: Un sistema last planner y BIM basado en 2 casos de estudio*. Santiago de Chile: UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO.

Onyango, A. (2016). Interaction between Lean Construction and BIM: How effectiveness in production can be improved if lean and BIM are combined in the design phase A literature review. Recuperado de: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1048993/FULLTEXT01.pdf>

Osorio-Gomez, C. C., Moreno-Falla, M. J., Ospina-Alvarado, A., & Ponz-Tienda, J. L. (2020). Lean Construction and BIM in the Value Chain of a Construction Company: A Case Study. In *Construction Research Congress 2020: Project Management and Controls, Materials, and Contracts* (pp. 368-378). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

- Pacheco, L., & Romero, J. (2019). *Implementación de la metodología bim en el sector de la construcción para el modelado virtual piloto del bloque 12 de la Universidad de la Costa* (Doctoral dissertation, Universidad de la Costa).
- Paxi, A. (2015). *Propuesta metodológica para la mejora de la planificación, programación y control de obras de construcción aplicando la interacción de las herramientas de Lean construction y Building Information Modeling (BIM)*. Tacna-Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna.
- Piña, C., Varela, S., Aguilera, P., & Vidales, A. (2017). *Aprendizaje de los roles de los agentes BIM en la organización de proyectos*. *Advances in Building Education*, 1(1), 47–55.
- Porras H., Sánchez, O., & Galvis, J. (2014). *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual*. Bucaramanga.
- Porras, H., Sanchez, O., Galvis, J., Jaimez, P. Castañeda, P. (Enero - Junio de 2015). *Tecnologías “Building Information Modeling” en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado*. *Entramado*, 11(I), 230-249. doi: <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21116>
- Ramírez, N. (2019). *Propuesta para la implementación de la metodología BIM en el desarrollo de nuevos proyectos de infraestructura en la Policía Nacional de Colombia*.
- Rauccio, C. (2019). *La Implantación de la metodología BIM en el despacho de obras civiles SETIN srl* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Saurith R, J., Soler Caro, O. (2021). *Evaluación comparativa entre la metodología bim y la metodología tradicional en los procesos constructivos de viviendas residenciales, mediante la gerencia en la construcción*. universidad distrital francisco josé de caldas facultad tecnológica ingeniería civil.

- Sun, C., Jiang, S., Skibniewski, M. J., Man, Q., & Shen, L. (2017). *A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry*. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(5), 764-779.
- Tauriainen, M., Marttinen, P., Dave, B., & Koskela, L. (2016). *The effects of BIM and lean construction on design management practices*. *Procedia engineering*, 164, 567-574.
- Valencia, J. (2018). *Aplicación de lean construction al sector de la infraestructura vial en Colombia*. (Bachelor 's thesis, Fundación Universidad de América).
- Xing, W., Hao, J., Qian, L., Tam, V., & Sikora, K. S. (2021). *Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China*. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124944.
- Zigurat Global Institute of Technology. (2018). *Lean BIM Construction: Benefits of BIM and Lean Management*. Extraído de: <https://www.e-zigurat.com/blog/en/lean-bim-construction-benefits-of-bim-and-lean-management/>