

Pasantía de investigación en el grupo de geomática, gestión y optimización de sistemas:

Apoyo a la caracterización de los avances de la integración de BIM y LEAN

CONSTRUCTION, en la planificación de proyectos de construcción

Jahir Alexis Valero-Sánchez

Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Civil

Director

Omar Giovanni Sánchez Rivera

PhD. en Ingeniería - Gestión de Desarrollo Tecnológico.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Marco Teórico.....	13
1.1 Building Information Modeling (BIM).....	13
1.2 Filosofía Lean Construction.....	14
2. Metodología de Investigación.....	15
2.1 Selección de las Principales Sinergias entre BIM y LEAN Construction	16
2.2 Recopilación Bibliográfica	17
2.3 Descripción y Caracterización de los Avances Investigativos	20
2.4 Exposición de las Tendencias de Investigación en Cuanto a las Interacciones entre BIM Y LEAN Construction en la Planificación de Proyectos de Construcción.....	22
3. Resultados	23
3.1 Seleccionar las principales interacciones de BIM y Lean Construction, relacionadas con la planificación de proyectos de infraestructura vial.	23
3.2 Descripción y Caracterización de los Avances Investigativos	28
3.2.1 Equipos de Trabajo	28
3.2.2 Gestión de residuos	28
3.2.3 Manejo Visual	29
3.2.4 Realidad Virtual	29

3.2.5 Herramienta.....	29
3.2.6 Simulación nD	29
3.2.7 Gestión de Riesgos.....	30
3.2.8 Control de Calidad	30
3.2.9 Prefabricación	30
3.2.10 Construcción Modular	31
3.2.11 Logística de Materiales	31
3.2.12 Mantenimiento	31
3.2.13 Ultimo planificador	31
3.2.14 Internet de las Cosas	32
3.2.15 Flujo de información.....	32
3.2.16 Implementación.....	33
3.2.17 Sostenibilidad.....	33
3.2.18 Educación.....	34
3.2.19 Diseño	34
3.2.20 Retraso	35
3.2.21 Manejo de costos.....	35
3.2.22 Control de Producción	36
3.2.23 Plan de construcción	36
3.2.24 Caso de Estudio.....	36
3.2.25 Puentes	37
3.2.26 Conceptos Básicos	37
3.2.27 Práctica arquitectónica.....	38

3.2.28 Aplicación/Implementación.....	38
3.3 Exposición de las Tendencias de Investigación en Cuanto a las Interacciones entre BIM Y LEAN Construction en la Planificación de Proyectos de Construcción.....	38
4. Conclusiones.....	40
Referencias Bibliográficas	42
Apéndices.....	52

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Número de Artículos por Año	18
<i>Figura 2.</i> Número de Artículos por Base de Datos	19

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Base de datos para la búsqueda de información.</i>	18
Tabla 2. <i>Palabras clave utilizadas en la búsqueda de documentos.</i>	18
Tabla 3. <i>Categorías de Investigación</i>	21
Tabla 4. <i>Sinergias Seleccionadas. Adaptación de Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction [12]</i>	25
Tabla 5. <i>Categorías con mayor puntaje de aceptación. Elaboración Propia.</i>	39
Tabla 6. <i>Sinergias con mayor puntaje de aceptación. Elaboración Propia.</i>	39
Tabla 7. <i>Tendencias de Investigación en Cuanto a las Interacciones entre BIM Y Lean Construction.</i>	41

Resumen

TÍTULO: Pasantía de investigación en el grupo de geomática, gestión y optimización de sistemas: Apoyo a la caracterización de los avances de la integración de BIM y LEAN CONSTRUCTION, en la planificación de proyectos de construcción *

AUTOR: Jahir Alexis Valero-Sánchez **

PALABRAS CLAVE: BIM; Lean; Sinergias; Integración.

DESCRIPCIÓN:

Muchos estudios datan la importancia y los beneficios que genera la implementación de las nuevas tecnologías a los proyectos que se crean y se construyen en la actualidad. El siguiente artículo se centra en el marco de analizar e investigar los avances que se han logrado obtener entre dos temas que son de suma importancia y de gran relevancia para la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), siendo el primer tema, la construcción de un modelo de información, mejor conocido como Building Information Modeling (BIM) y el segundo tema a tratar es la implementación de la filosofía de construcción Lean Construction. La construcción Lean tiene como objetivo eliminar los desechos en el proceso de construcción, y en cuanto a la tecnología del modelado BIM busca una mayor colaboración entre los equipos de trabajo durante las fases de diseño, construcción y operación de un proyecto en nuestro caso de la industria AEC. Este artículo expone las tendencias de investigación que existentes en un rango de 10 años, partiendo desde el 2009 hasta el presente, en cuanto a las interacciones que hay entre la práctica de Building Information Modeling (BIM) y la filosofía de construcción Lean junto con la planificación de proyectos de Construcción.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera

Abstract

TITLE: Research internship in the Geomatics Group, and optimization of management systems, Support for the characterization of Advances, integration of BI and construction without losses and in the planning and construction of projects*.

AUTHOR: Jahir Alexis Valero-Sánchez**

KEYWORDS: BIM; Lean; Synergies; Integration.

DESCRIPTION:

Many studies date the importance and the benefits that the implementation of new technologies generates to the projects that are created and are currently being built. This article will focus on analyzing two relevant topics, the first being the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry, and the second the construction of an information model (BIM) and the Lean construction philosophy. The Lean construction aims to eliminate waste in the construction process, while the BIM modeling technology seeks greater collaboration between the work teams during the design, construction and operation phases of a project in our case of the AEC industry. This article exposes the research trends that exist in a range of 10 years, starting from 2009 to the present, in terms of the interactions between the practice of Building Information Modeling (BIM) and the Lean construction philosophy together with the Construction project planning. The Lean construction aims to eliminate waste in the construction process, while the BIM modeling technology seeks greater collaboration between the work teams during the design, construction and operation phases of a project in our case of the AEC industry. This article exposes the research trends that exist in a range of 10 years, starting from 2009 to the present, in terms of the interactions between the practice of Building Information Modeling (BIM) and the Lean construction philosophy together with the Construction project planning.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera

Introducción

En la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC), por sus siglas en inglés, se invierte en la actualidad una importante cantidad de tiempo, recursos y costos innecesarios a causa de la poca planificación y optimización con la que se cuenta, dicha falta de optimización solo deja como resultado retrasos por rediseños y reparaciones, aumentos elevados en el costo de las construcciones e importantes pérdidas de dinero que sin duda alguna podrían evitarse planeando detalladamente el desarrollo del proyecto antes de ponerlo en marcha (Díaz, Rivera, & Guerra, 2014), (SALMAN AZHAR, 2011), (López, Técnico, Asociación, & De, 2016), (Zheng, Lu, Chen, Chau, & Niu, 2017).

Teniendo en cuenta las dificultades mencionadas anteriormente se han buscado nuevas alternativas que ayuden a mitigar la pérdida de tiempo, dinero y producción, así lograr ganancias en dichos aspectos (Tauriainen, Marttinen, Dave, & Koskela, 2016).

Dentro del gran número de soluciones propuestas, han surgido dos enfoques que pueden propiciar la mitigación de las problemáticas expuestas: la primera solución es de orden teórica en la gestión de proyectos y su principal objetivo es eliminar todas aquellas actividades que puedan generar algún tipo de pérdida durante la ejecución del proyecto, además de perfeccionar aquellas que si generen ganancias; a esta alternativa se le conoce como la filosofía Lean Construction (Arayici et al., 2011), (BELMAR, 2017). La segunda solución se basa en la construcción de un

modelo mediante la recopilación de toda posible información que intervenga en el desarrollo de un proyecto durante toda su vida útil, a esta alternativa se le conoce como Building Information Modeling (Ciribini, Mastrolembro Ventura, & Paneroni, 2016), (Ahuja, Sawhney, & Arif, 2017), (Mansooreh MOGHADAM, Aladdin ALWISY, & Mohamed AL-HUSSEIN, 2012), (Gutiérrez Vélez, 2015).

Si bien estas soluciones a simple vista parecieran ir en diferentes direcciones y sus conceptos estar totalmente separados uno del otro, existen investigaciones como INTERACTION OF LEAN AND BUILDING INFORMATION MODELING IN CONSTRUCTION (Sacks, Koskela, Dave, & Owen, 2010) de los autores Rafael Sacks; Lauri Koskela; Bhargav A. Dave; and Robert Owen en la que se ha demostrado que al asociar las funcionalidades de Building Information Modeling (BIM), con los principios de Lean Construction, se crean relaciones teóricas y se identifican 56 sinergias entre los dos, por tal razón el objetivo de este proyecto es dar una visión clara de los avances de las investigaciones que se han venido presentando entre los años 2000 y 2017, caracterizándolas de acuerdo a las sinergias establecidas en la teoría; entre Lean Construction y el modelo de información de construcción -BIM- en todo lo relacionado con la gestión de proyectos de construcción.

1. Marco Teórico

1.1 Building Information Modeling (BIM)

La práctica del BIM no es muy común en Colombia, aproximadamente el 18% de los proyectos de construcción se utiliza siempre o frecuentemente este proceso; este porcentaje es bastante bajo si se compara con otros países como Rusia, Estados Unidos, Suecia, Noruega, Chile y Brasil en donde el avance e implementación en esta práctica es bastante elevado. Ahora bien, no existe una definición que actualmente este consolidada en el mundo para describir a BIM, por eso se darán los puntos de vista de diferentes actores involucrados en el uso, expansión y evolución de este (López et al., 2016),(Botero, Isaza Pulido, & Vázquez Hernández, 2015),(Ozturk, Arditi, Yitmen, & Yalcinkaya, 2016).

En la actualidad una de las empresas más importantes dedicadas al diseño 2D y 3D es Autodesk, quien su página define a BIM como “un proceso inteligente basado en un modelo 3D que brinda a los profesionales de la arquitectura, la ingeniería y la construcción la visión y las herramientas para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructura de manera más eficiente” (AUTODESK, n.d.).

En Chile donde el tema de BIM es más conocido, existe un fórum dedicado a profesionales e instituciones relacionadas con BIM; el BIM Fórum Chile define este proceso como “Una metodología/proceso para desarrollar y utilizar modelos BIM para apoyar decisiones de diseño, construcción y operación durante todo el ciclo de vida de un proyecto, lo que implica una

integración y gestión de información provista y usada por diferentes actores del proyecto” (Grupo Técnico de Trabajo de Educación de BIM Forum Chile, n.d.).

En el documento *Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction* se define a BIM como “Un verbo o frase adjetiva para describir herramientas, procesos, y tecnologías que son facilitadas por dispositivos digitales legibles por máquinas, documentación sobre un edificio, su funcionamiento, su planificación, su construcción, y más tarde su operación. El resultado de la actividad de BIM es un "modelo de información del edificio" (Sacks, Koskela, et al., 2010).

Ahora bien teniendo en cuenta la información recolectada se puede establecer una definición más detallada de dicho termino: El modelado de información de construcción (Building Information Modeling o BIM en inglés) hace referencia a un proceso de modelamiento 3D, donde se busca la interacción sincronizada y enfocada en un mismo proyecto, de todas las personas, bien sea profesionales, como también departamentos que puedan aportar información característica, importante y detallada en tiempo real sobre el proceso de diseño, planificación,

construcción y administración de este. Con el objetivo de dar una visión con cierto grado de realismo a los profesionales y ayudar en la toma de decisiones tempranas y correcciones necesarias para evitar comprometer el desarrollo del proyecto y administrarlo durante todo su ciclo de vida (AUTODESK, n.d.), (Grupo Técnico de Trabajo de Educación de BIM Forum Chile, n.d.), (HILDEBRANDT GRUPPE, n.d.), (Lean Construction Institute, n.d.), (KAIZEN Arquitectura & Ingeniería, n.d.).

1.2 Filosofía Lean Construction

La filosofía construcción sin pérdidas o “Lean Construction” fue introducida por Lauri Koskela en el año 1992 basándose en el modelo empleado por ingenieros de la industria automovilística TOYOTA a fines de la década de los 50 y comienzos de los 60. Así pues, Lean Construction (Construcción sin pérdidas) es la adaptación y aplicación de los principios de producción de la fabricación japonesa a la construcción (Díaz et al., 2014), (Mahalingam, Yadav, & Varaprasad, 2015).

La filosofía Lean busca la reducción al mínimo de los desperdicios en la ejecución de los proyectos, eliminando todas aquellas actividades, procesos y flujos de recursos que no generen valor agregado al proyecto con el fin de optimizar todas las que, si lo hacen, obteniendo así un producto de mayor calidad, con menos tiempo de ejecución, económico y totalmente funcional [1].

Según el Lean Construction Institute (ILC) fundado en 1997, que busca mejorar las industrias de construcción y diseño, tiene como definición que los métodos Lean ayudan a desarrollar y administrar un proyecto a través de las relaciones, el conocimiento compartido y los objetivos comunes. Los silos tradicionales de conocimiento, trabajo y esfuerzo se desglosan y reorganizan para el mejoramiento del proyecto en lugar de los participantes individuales. ¿El resultado? Mejoras significativas en el cronograma con un desperdicio dramáticamente reducido, particularmente en proyectos complejos, inciertos y rápidos [18].

2. Metodología de Investigación

Esta investigación se produjo mediante la metodología de revisión sistemática de acuerdo al conjunto de principios básicos observados por Briner y Denyer (Briner & Denyer, 2012) como lo son:

- **Sistemático / Organizado:** Estas investigaciones se deben realizar de acuerdo a un plan o método donde se aborde específicamente el tema a desarrollar.
- **Transparente / Explícito:** El método a utilizar debe estar detallado claramente.
- **Replicable / Actualizable:** El método y la forma en que se da a conocer la información debe ser lo suficientemente clara y explícita, para poder en una nueva oportunidad repetir, modificar o actualizar la información.
- **Sintetizar / Resumir:** Las RS organiza los resultados de manera estructurada para dar a conocer la evidencia con respecto al tema desarrollado.

Para una adecuada presentación de esta investigación se determinó la división del tema general en objetivos simples y concretos que abarcaban desde la selección de las sinergias existentes entre 18 funcionalidades de BIM (Tabla A.1) y 24 principios de la filosofía LEAN (Tabla A.2), hasta la exposición de las tendencias de interacción entre las mismas; a continuación, se detallarán cada una de las fases y procesos realizados en esta investigación:

2.1 Selección de las Principales Sinergias entre BIM y LEAN Construction

Para iniciar la investigación se realizara la lectura y el análisis detallado del artículo de investigación “*Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction*”(Sacks, Koskela, et al., 2010) cuyos autores Lauri Koskela y Rafael Sacks han sido los principales

contribuidores durante años de la formación de los fundamentos teóricos de los temas de Building Information Modeling y Lean Construction a nivel mundial.

Lauri Koskela, Rafael Sacks y los demás colaboradores responsables del artículo mencionado anteriormente, eligieron las funcionalidades de BIM que las encontramos en el apéndice en la **Tabla A.1** y al hacer la yuxtaposición con los principios de la filosofía Lean Construction que los encontramos en la **Tabla A.2** de nuestro apéndice, encontrando puntos en común entre los principios de cada tema lo que llamaron sinergias. Con estas sinergias generaron una matriz donde sinergia tras sinergias llegaron a observar 56 interacciones donde todas menos 4 se contraponen a una interacción positiva, y se pueden evidenciar en la **Tabla A.3** de nuestro apéndice.

Las 56 interacciones cuentan con una breve descripción que los autores del artículo “*Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction*”(Sacks, Koskela, et al., 2010) le dan a cada una y se pueden evidenciar en la **Tabla A.4**. Estas sinergias se estudiaron rigurosamente cada una y se llegó inicialmente a una selección de 23 sinergias principales, pero luego de una nueva inspección de las interacciones se eligieron en total 30 sinergias principales y consideradas las más importantes entre las funcionalidades de BIM y los principios de la filosofía Lean en relación con la planificación de proyectos de infraestructura vial. Se encuentran en la sección 4.1.

2.2 Recopilación Bibliográfica

Durante la fase de recopilación documental esta se basó en la selección de documentos científicos, investigaciones, artículos de investigación, libros, revisiones sistemáticas, casos de estudios y artículos derivados de conferencias internacionales dirigidos a la planificación de proyectos AEC, a las funcionalidades de BIM y a los principios de la filosofía Lean Construction. Para la búsqueda

de estos documentos fue necesario la utilización de las bases de datos que se muestran en la Tabla 1.

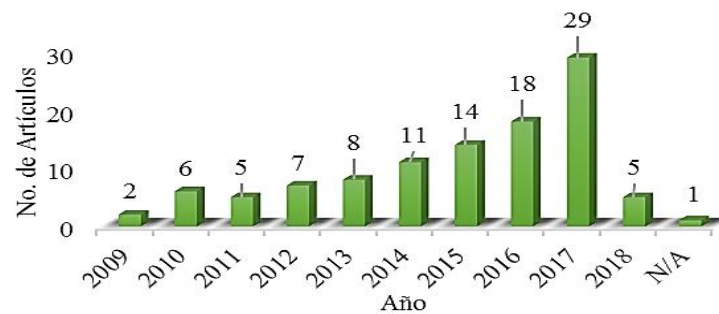


Figura 1. Número de Artículos por Año

Para cada una de las bases de datos utilizadas en la búsqueda documental se tuvo en cuenta una serie de palabras claves que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1.

Base de datos para la búsqueda de información.

Id	Base de datos
1	ASCE (American Society of Civil Engineers)
2	ELSEVIER
3	Springer
4	Emeral Insight
5	Science Direct
6	Google Académico

Tabla 2.

Palabras clave utilizadas en la búsqueda de documentos.

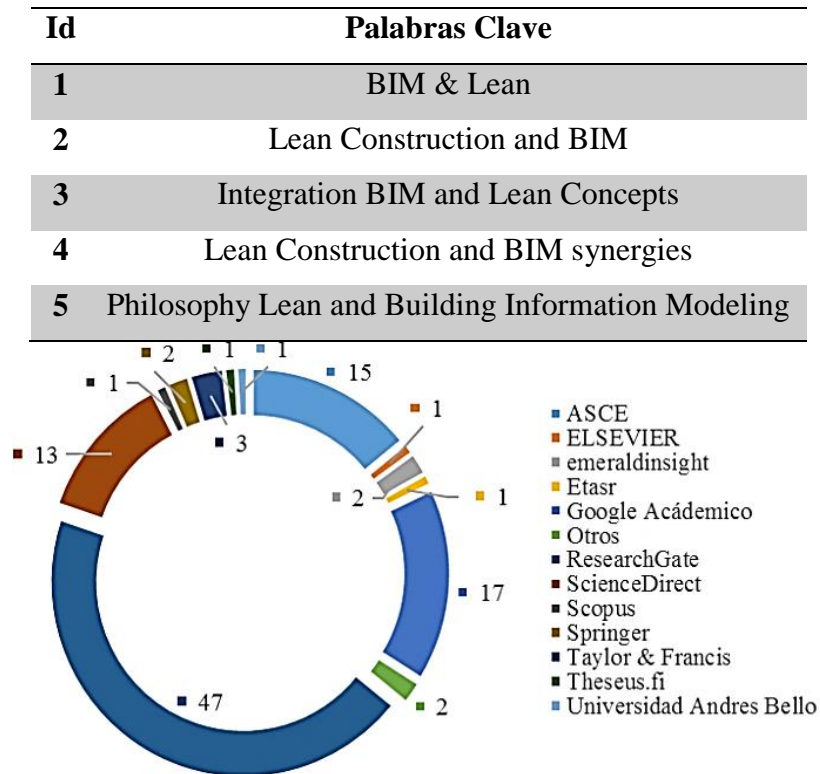


Figura 2. Número de Artículos por Base de Datos

Inicialmente se descargaron más de 130 documentos de las bases de datos con las palabras clave mencionadas anteriormente que se clasificaron y ordenaron en una tabla de *Excel*, posteriormente se utilizó el software llamado *Mendely Desktop* para la integración de los documentos donde se tuvo que descartar 13 documentos ya que se detectó la repetición de estos.

El software *Mendely Desktop* no fue el único que se utilizó para la integración de los documentos, también se tomó el software *XMind 8*, en el cual el grupo de geomática, gestión y optimización de sistemas lleva un mapa mental de las investigaciones y recopilación de documentos realizados anteriormente. Este mapa mental tema LEAN-BIM contaba de 13 documentos. Al ingresar los nuevos documentos ya descartando los documentos repetidos y 11 los que no desarrollaban o no tenían mucho que aportar a esta investigación, logrando obtener un total

de 106 documentos con los cuales se procedió al proceso de descripción y caracteriza con de los avances investigativos.

De los 106 artículos seleccionados cabe resaltar que el dominio del idioma ingles en la escritura de los artículos científicos es predominante con un poco más del 96% fueron escritos en este idioma. De los artículos seleccionados obtuvieron las siguientes graficas:

En la Fig. 1. Se observa el número de artículos estudiados por año de publicación, teniendo en cuenta que nuestro estudio se basó en un rango de 10 años, desde el año 2009 hasta el presente 2018, presentándose un incremento significativo en el estudio y las investigaciones de las sinergias de BIM y Lean Construction.

Fig. 2. Se observa el número de artículos encontrados con respecto a las bases de datos donde se encontraron.

2.3 Descripción y Caracterización de los Avances Investigativos

El proceso de descripción de los avances de investigación inició con la definición; los campos y relleno de los mismo, en una base de datos realizada con el software Microsoft Excel, con la información más relevante posible como el título, los autores (hasta 4), la revista de publicación, año de publicación del estudio, idioma en que fue escrito, la base de datos que se encontró, la hipótesis que los autores quisieron resolver en su estudio, el tipo de proyecto entre los cuales encontramos libros, artículos de investigación, conferencia papper, tesis de maestría, tesis de doctorado o pregrados.

Luego con la lectura de los 106 estudios seleccionados para nuestra investigación y dando uso a la base de datos con que ya se disponía en el software Microsoft Excel con todas las

características de los documentos se fueron agrupando de acuerdo al objeto de cada uno con sus similares obteniendo inicialmente 34 diferentes temas o categorías definidas, a medida que se avanzó en la realización del estudio estas categorías tuvieron que ser reestructuradas obteniendo finalmente un total de 28 diferentes categorías (Ver Tabla 3).

Finalmente, en esta etapa de la investigación se completó la base de datos de Excel con la interpretación de los resultados obtenidos que cada autor plasmó en sus investigaciones; Con este aporte que se obtuvo de cada documento de estudio se sintetizó con una idea principal de la categoría en la que se encontraba el artículo para así poder evidenciar y describir los avances investigativos, así como se observa en la sección 4.2 de este artículo.

Tabla 3.

Categorías de Investigación

Categoría de Investigación
Application/Implementation
Architectural Practice
Basic Concepts
Bridges
Case Study
Construction Plan
Control Production
Cost Management
Delay
Design
Education
Green / Sustainability
Implementation
Information Flow

Categoría de Investigación
Internet of Things
Last Planner
Maintenance
Material Logistics
Modular Constructon
Prefabrication
Quality Control
Risk Management
Simulation nD
Tool
Virtual Reality
Visual Management
Waste Management
Work Teams

2.4 Exposición de las Tendencias de Investigación en Cuanto a las Interacciones entre BIM Y LEAN Construction en la Planificación de Proyectos de Construcción.

Para la última parte de nuestra investigación se necesitó de la categorización que se evidenció en la etapa anterior y de las principales sinergias que fueron elegidas del documento “*Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction*”(Sacks, Koskela, et al., 2010) entre las funcionalidades de BIM y los principios de la filosofía Lean Constuction que se realizó en la sección 3.1.

Las 28 categorías se reescribieron en una columna de una hoja de cálculo del software Microsoft Excel y las principales sinergias fueron escritas en la fila superior de la misma para poder

interactuar las categorías y las sinergias. Para compararlas se formuló la siguiente pregunta: ¿existe una relación entre los avances presentados en la categoría y la sinergia?

Si se obtenía una respuesta afirmativa a la pregunta se le dio a la celda en común un valor numérico de 1, y si, por el contrario, no había relación alguna y la respuesta era negativa, la celda en común tomaba un valor de 0.

Así fue como se logró obtener como resultado las principales categorías y avances de investigación, que se describen en la sección 4.4.

3. Resultados

En las siguientes subsecciones se exponen los hallazgos que se produjeron luego de aplicar toda la metodología propuesta en la sección anterior.

3.1 Seleccionar las principales interacciones de BIM y Lean Construction, relacionadas con la planificación de proyectos de infraestructura vial.

En la Tabla 4 se observan las principales interacciones de las funcionalidades de BIM y los principios de Lean Construction, relacionadas con la planificación de proyectos de infraestructura vial.

Estas interacciones fueron seleccionadas luego de la lectura y comprensión de las 56 sinergias existentes en el artículo “*Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction*” [12] y se pueden ver en la tabla A4 del apéndice de este artículo.

Esta tabla cuenta con un “Ind” que hace referencia al número de interacción encontrada por los profesores Lauri Koskela y Rafael Sacks en su artículo, en una siguiente columna encontramos “Cod” que fue un código corto que se utilizó para una visualización y compresión más fácil de la sinergia seleccionada y por último cuenta con una breve descripción de la sinergia elegida.

Tabla 4.

Sinergias Seleccionadas. Adaptación de Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction [12]

Índ	Cod	Explicación
1	S1	Reduce la variabilidad del producto al poder obtener la visión clara del diseño en una etapa temprana y al mismo tiempo poder hacer evaluaciones funcionales de rendimiento (como energía, acústica, eólica, térmica, etc.), generando así un producto final de mayor calidad y consistente.
2	S2	Al realizar control de choques o comprobaciones automáticas se puede identificar fácilmente cualquier defecto o se pueden observar partes incompletamente detalladas, evitando así la repetición en el campo como resultado de un diseño incompleto.
3	S3	BIM se da a la tarea de facilitar a los planificadores comprender los diseños y manejar productos complejos de una manera sencilla, minimizando las dificultades de generar mapas mentales precisos solo con dibujos.
4	S4	Un modelo 3D permite facilitar la comunicación asertiva entre muchas más partes interesadas en el proyecto para participar en la toma de decisiones de diseño.
5	S5	La verificación y la validación del diseño con respecto a las normas de diseño y construcción de la misma es más eficiente gracias a la inteligencia que se le incorpora a los prototipos virtuales y su simulación.
7	S6	BIM permite la repetición y el análisis de múltiples alternativas de diseño, gracias a su capacidad de estudiar y evaluar el impacto generado por los cambios de diseño en la construcción de manera visual y sencilla, lo cual no es posible con los dibujos tradicionales.
8	S7	Gracias a las plataformas de integración existentes en el mercado es posible generar varias alternativas de diseño en etapas tempranas del proyecto, trabajando simultáneamente con diferentes equipos. Además, que, en futuro cambio, en una etapa posterior fabricación / construcción se produzca un cambio de diseño este mismo, se actualiza de manera automática, ingresando además cualquier otro tipo de información relevante para el proyecto.
9	S8	Garantiza que el diseño sea el apropiado para la función elegida al probarlo según los criterios de rendimiento, así esto mejora el rendimiento del producto final.

<i>Índ</i>	<i>Cod</i>	Explicación
10	S9	La automatización de un proyecto es más preciso y hay menos posibilidades de error humano, si este, está vinculado a un modelo BIM. Además de poder cambiar el diseño en una etapa posterior cambiando también los archivos de las cantidades vinculadas, asegurando que siempre estas sean precisas.
11	S10	BIM simplifica las representaciones de los mismos objetos en múltiples lugares y de múltiples conjuntos de dibujos y especificaciones 2D, utilizando una única representación de información de la que todos los informes se derivan automáticamente.
12	S11	Fusiona modelos, identifica conflictos y los resuelve mediante el uso de software capaz de integrar diferentes modelos.
13	S12	Permite la identificación temprana de errores y fallas de los diseños mediante la revisión multidisciplinaria del diseño y los detalles de fabricación.
14	S13	Evita la omisión de tareas o etapas de trabajo debido a los errores humanos con la planificación de tareas automatizada.
18	S14	Al disponer de la información del producto en línea, se reducen los errores y se pueden identificar conflictos en tiempo de ciclos cortos
20	S15	Se mejora el flujo y elimina el tiempo de espera, gracias a la entrega sin intermediarios de toda la información.
22	S16	Entrega fácil de análisis multidisciplinarios, y de la evaluación de la conformidad con el programa del cliente.
23	S17	Se elimina el tiempo de integración y de coordinación de las diferentes vistas del modelo y los elementos del diseño (CAD) si fue realizado en paralelo en diferentes partes.
24	S18	El tiempo necesario para la coordinación basada en modelos entre disciplinas y para la comprobación de conflictos es automatizada al mínimo, siempre y cuando se esté utilizando las superposiciones CAD.
28	S19	Mejora los tiempos de ciclo al eliminar o reducir los tiempos de procesamiento de datos para ordenar o renovar entregas de material, etc.
29	S20	Retrasa la selección de una única alternativa de diseño hasta último momento debido a que la funcionalidad aumenta el inventario de las alternativas.

<i>Índ</i>	<i>Cod</i>	Explicación
31	S21	Reduce el tiempo de preparación necesario para un nuevo cálculo o evaluación de una nueva alternativa de cronograma de ejecución desde cualquier punto en adelante, esto gracias a la generación automática de tareas para un escenario de modelo dado.
33	S22	Permite a los equipos de diseño llevar el conocimiento y las habilidades multidisciplinarias a un proceso paralelo donde un visor de modelo integrado en un entorno de trabajo colaborativo permite coordinar el diseño del proyecto entre múltiples diseños.
40	S23	El modelado y la animación de secuencias de construcción en herramientas "4D" brindan la oportunidad de visualizar conflictos de recursos en tiempo y espacio, y poder resolver problemas de construcción. Permitiendo así la optimización y la mejora continua en eficiencia y seguridad ayudando a mejorar el flujo y evitando los cuellos de botella que se puedan presentar.
45	S24	La información de diseño se mantiene actualizada durante el trabajo si existe un acceso completo en línea.
46	S25	Verifica y valida la información del producto comprobando los choques de información y resolviendo otros tipos de problemas de integración.
49	S26	Facilita el manejo de información de todos los involucrados, ampliando la gama de opciones que se pueden considerar en una toma de decisiones participativa.
51	S27	Reduce el tiempo de configuración utilizando la configuración de modelos de diseño anteriores y sus modelos de análisis (como energía, acústica, eólica, térmica, etc.). Permitiendo realizar análisis más variados y detallados.
54	S28	Mejora la capacidad de ingeniería gracias a la generación automatizada de dibujos si se compara con el diseño en 2D, produciendo conjunto de dibujos coordinados adecuadamente y más confiables.
55	S29	Las animaciones de secuencias de producción o instalación que guíen al trabajador garantizan que se ejecuten procedimientos estandarizados de manera adecuada durante la rotación de trabajadores de etapa a etapa, como es común en la construcción.

<i>Índ</i>	<i>Cod</i>	Explicación
56	S30	Mejora la comunicación en la fase de diseño de todos los participantes al compartir los modelos entre sí, lo que garantiza que las características y requisitos se entiendan y transmitan a través de todo el equipo de trabajo y a los constructores y proveedores de manera asertiva.

3.2 Descripción y Caracterización de los Avances Investigativos

Basados en la lectura y caracterización de los documentos extraídos de las diferentes bases de datos ya anteriormente mencionadas, se hace un resumen de los avances investigativos logrados en cuanto a cada categoría de investigación analizada, y los resultados se muestran en cada categoría a continuación:

3.2.1 Equipos de Trabajo Se muestran resultados de la investigación que realizó Xun Zhang et al. (Zhang, Azhar, Nadeem, & Khalfan, 2018) donde demostró que BIM no solo ayudó en las detecciones de choques, sino que también ayudó en el desarrollo del flujo de trabajo de valor agregado a través de la coordinación y comunicación del equipo de trabajo.

3.2.2 Gestión de residuos La gestión de residuos se centra en toda actividad necesaria para hacerse cargo de cualquier residuo. En sus respectivos artículos María G. Mandujano et al. (Mandujano, Alarcón, Kunz, & Mourgues, 2016), Mollasalehi, S. (S. Mollasalehi, Fleming, Talebi, & Underwood, 2016) y Jack C.P. Cheng (J. Cheng, 2015) encontraron puntualmente que gracias a la implementación y la integración de BIM y Lean tiene incumbencia en la reducción o eliminación de los desperdicios en los procesos de construcción.

3.2.3 Manejo Visual En cuanto a esta categoría los avances encontrados son gracias a Algan Tezel et al.(Tezel & Aziz, 2017a), (Tezel & Aziz, 2017b), (Tezel & Aziz, 2017c) , Luis F. Alarcón et al. (Alarcón, Mandujano, & Mourgues, 2013), Bhargav Dave et al. (Dave, Boddy, & Koskela, 2011), quienes acertaron y su aporte se unifico en cuanto a la integración de VM con BIM y Lean le aportan tanto al sector de construcción como al sector de transporte mejoras en la transmisión de información, a lo largo del ciclo de vida del proyecto, una mayor autogestión y coordinación del equipo de trabajo.

3.2.4 Realidad Virtual Ali Motamedi et al. en su artículo “*Signage visibility analysis and optimization system using BIM-enabled virtual reality (VR) environments*”(Motamedi, Wang, Yabuki, Fukuda, & Michikawa, 2017), nos cuenta que al incorporar BIM al entorno de realidad virtual se le dio al usuario la capacidad de analizar y comparar nuevas alternativas de diseño, obteniendo la facilidad de determinar el diseño más eficiente.

3.2.5 Herramienta En esta categoría Mohammad Rahmani Asl et al.(Rahmani Asl, Stoupine, Zarrinmehr, & Yan, 2015) presento a Optimo, una herramienta de optimización multiobjetivo basada en programación visual abierto, que interactúa con una herramienta BIM la cual se comprobó que ayuda en la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto.

3.2.6 Simulación nD El uso de la simulación nD combinada con metodología BIM y Lean le permitió demostrar a Ameen Hamza Albahri et al.(Albahri & Hammad, 2017), Omid Haiati (Haiati, von Heyl, & Schmalz, 2016) y Manfred Breit (Breit & Arnold, 2010), que su implementación simultanea puede mejorar significativamente los procesos de construcción,

mejorando notablemente la visibilidad de los flujos de trabajo, identificar de antemano los posibles conflictos, asignar tareas con precisión y facilita la toma de decisiones.

3.2.7 Gestión de Riesgos En su tesis de maestría Carlos Gutiérrez Vélez (Gutiérrez Vélez, 2015), en el año 2015 pudo observar que al utilizar un sistema de análisis y control cualitativo de riesgos integrado a interacciones cortas en una plataforma tecnológica como BIM que trabajará con equipos multidisciplinarios y autogestionados, no solo se tendrá un mayor control sobre los proyectos, sino también sobre las entregas con aumento en la calidad de la información por medio de equipos altamente productivos con un alto nivel de eficiencia.

3.2.8 Control de Calidad Se implemento KanBIM QC en un proyecto de construcción compleja, de gran dificultad en la construcción y estrictos requisitos de calidad, arrojando como resultado que Lean garantiza altos estándares de construcción maximizando el valor del proyecto. Jingkuang Liu et al.(Liu & Shi, 2017).

3.2.9 Prefabricación Al concentrar la información del producto, el proceso o integrar a todos los miembros de proyectos de componentes prefabricados en un modelo BIM. Se pueden lograr objetivos como un óptimo proceso comercial, aumentar la confiabilidad del intercambio de información, un ciclo más corto, menor costo, inventario mínimo, flujo más rápido, maximizando así el valor de la empresa o el proyecto.

Un claro ejemplo es la investigación de Tushar Nath et al. (Nath, Attarzadeh, Tiong, Chidambaram, & Yu, 2015), donde concluyó que habría una mejora significativa de la

productividad general para el tiempo de procesamiento y el tiempo total en las practicas actuales para la generación de dibujos de taller.

3.2.10 Construcción Modular En el documento “*Integrated BIM/Lean Base Production Line Schedule Model for Modular Construction Manufacturing*”(Mansooreh MOGHADAM et al., 2012), se propuso un modelo BIM / Lean integrado para el cronograma de línea de producción de construcción modular. Los resultados demostraron la efectividad del modelo propuesto para reducir el desperdicio, el tiempo y el uso de los recursos.

3.2.11 Logística de Materiales Se demuestra un marco basado en el modelado de información de construcción (BIM) para la planificación y gestión de logística de materiales automatizada y el diseño del sitio para un sitio de construcción. (J. C. P. Cheng & Kumar, 2015)

3.2.12 Mantenimiento Mediante el caso de estudio realizado por Wenchi Shou et al. en su documento “*Integration of BIM and Lean Concepts to Improve Maintenance Efficiency: A Case Study*”(Wenchi Shou, Xiangyu Wang, Jun Wang, Hou, & Martijn Truijens, 2014), demostraron que la integración de los conceptos BIM y Lean tenía fuertes perspectivas de aplicación en el mantenimiento de Petróleo y Gas, y el proceso de mantenimiento se satisfacía principalmente con la mejora de la eficiencia.

3.2.13 Ultimo planificador Last Planner es un sistema de control que mejora el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de recursos de los proyectos de construcción, se basa en aumentar el cumplimiento de las actividades de construcción mediante la disminución de la

incertidumbre asociada a la planificación. Ahora bien los resultados expuestos en este tema se deben gracias a Rafael Sacks et al.(Sacks, Radosavljevic, & Barak, 2010) donde Al implementar un software de gestión de construcción de flujo habilitado con BIM y basado en LPS llamado "KanBIM" se pudo demostrar que el sistema tiene el potencial para mejorar el flujo de trabajo y reducir el desperdicio al proporcionar tanto el proceso como la visualización del producto en el área de trabajo, Mauricio Toledo et al.(Toledo, Olivares, & González, 2016) encontraron que el uso coordinado de LPS y BIM genera un aumento en el porcentaje de plan completado (PPC), una disminución en los motivos de incumplimiento, un acortamiento de las duraciones de la reunión y una disminución en el número total de solicitudes de diseño para información (RFI)., y otros autores que aportaron sus investigaciones en este tema fueron Ankit Bhatla et al.(Bhatla & Leite, 2012), M. C. Garrido et al.(M. C. Garrido, R. Mendes Jr, S. Scheer, & T. F. Campestrini, 2015).

3.2.14 Internet de las Cosas Para este tema los artículos relacionados no se centran en mejoras puntuales de construcción, por el contrario, se muestra el potencial para la implementación de tecnologías conectadas, digitales e inteligentes en ingeniería y gestión de la construcción, así como en la gestión de instalaciones y procesos de operación. Obteniendo como resultados gracias al uso de estándares de IoT la posibilidad de recopilar y visualizar datos reales del proyecto en tiempo real en campo, y mejorando la interoperabilidad entre todos los sistemas de información del proyecto.

3.2.15 Flujo de información El flujo de información es el camino que recorre la información que necesita ser usada entre distintas personas, sectores u organizaciones que componen el proyecto. Los resultados que se exponen en esta categoría determinaron que la teoría Lean se puede

aplicar y adaptar para determinar eficazmente los residuos de intercambio de información (IE). Sumado a esto también se pudo demostrar que con BIM hubo una mejora en el flujo de información por lo que se evidencio una eficiencia en el proceso de diseño, mejoro el flujo de diseño, la transformación del conocimiento reduciendo el tiempo de procesamiento, como también se reducen los desechos. (Dubler, Messner, & Anumba, 2010) (Al Hattab & Hamzeh, 2017) (Al Hattab & Hamzeh, 2013).

3.2.16 Implementación La aplicación a todo tipo de proyectos de LC basado en tecnología BIM tiene ciertos valores teóricos y una importancia práctica para la transformación y mejora de la industria de la construcción, cuyas ventajas incluyen principalmente las siguientes puntos: (1) Se da cuenta del modo de operación elaborado de los proyectos industriales que integran el "diseño eficiente", "adquisición ajustada" e "instalación de la construcción" en su conjunto; (2) Basándose en la tecnología BIM, se respaldarán las tecnologías clave de LC para su aplicación integrada y colaborativa, que podría promover los objetivos de valor agregado de los proyectos de industrialización; (3) Al ensamblar Internet, Internet de cosas y la red de edificios industriales en un sistema, se convierte en un nuevo modo de servicios en la nube para lograr la "informatización impulsa la industrialización" de la industrialización de tipo nuevo. (Tezel, Koskela, & Aziz, 2018) (Yue, Jun Fang, & Xuhui Chen, 2016) (Dave, Boddy, & Koskela, 2013).

3.2.17 Sostenibilidad La sostenibilidad hace referencia especialmente a las características de desarrollo que aseguran el equilibrio de una especie con su entorno en el presente sin llegar a comprometer las necesidades de futuras generaciones.

Ahora bien, en cuanto a las investigaciones dirigidas en este tema, tratan de eliminar las limitaciones que existen actualmente para la ejecución de proyectos sostenibles, desde la etapa de diseño hasta las etapas operacionales, creando un estándar para la integración futura de Sostenibilidad (Green) con las plataformas BIM y Lean.

Dando cuenta que esta unión trae beneficios como la optimización de recursos, una construcción más rápida, reducción del desperdicio, generación de un informe de sostenibilidad que puede ayudar la toma de decisiones en cada etapa del diseño y el ciclo de vida del proyecto y satisfacción de todas las partes interesadas.(Idra, 2017) (Rahman, Gonzalez, & Amor, 2013) (Khodeir & Othman, 2016) (Ahuja, Sawhney, & Arif, 2014) (Maltese, Moretti, Cecconi, Ciribini, & Kamara, 2017) (Hyatt, 2011) (Fernández-Solís & Lavy, 2008) (Elena Enache-Pommer, Michael J. Horman, John I. Messner, & Riley, 2010)(Ahuja et al., 2017)

3.2.18 Educación Hoy en día se ha indagado bastante sobre el mundo del BIM y Lean Construction, pero muy poco es lo que en la academia se enseña, los autores de estos artículos ven la necesidad de incorporar las enseñanzas que dejan Building Information Modeling y Lean Construction ya que se sugiere que son enfoques bastante prometedores que apuntan a mejorar la eficiencia en la industria de la construcción. Por lo tanto, incorporar su enseñanza en cursos de ingeniería civil es bastante importante tanto para la industria como para la academia. (Alvarenga, da Silva, & de Brito Mello, 2017)(Graham, Evans, Çelik, & Gould, 2012)

3.2.19 Diseño Pensar en la implementación de BIM y Lean puede ayudar a las compañías de AEC a deshacerse de múltiples sobre costos y problemas heredados desde un mal planteamiento de diseño. Con la aplicación de esta tecnología se observó que hay mejoras principalmente en la

visualización, reconfiguración, comunicación entre los diseñadores que pueden considerar todas opciones y variables para una pronta y optima decisión en las etapas de diseño inicial, ayudando a mejorar toda actividad de fabricación e instalación. (Rahmani Asl, Zarrinmehr, Bergin, & Yan, 2015) (Ciribini et al., 2016) (Tauriainen et al., 2016) (Sajedeh Mollasalehi et al., 2017) (Tillmann, Viana, Sargent, & Tommelein, 2015) (Filho, Angelim, & Neto, 2016) (Murguia, Brioso, Ruiz-Conejo, & Fernandez, 2017)

3.2.20 Retraso Los hallazgos destacan la importancia de la integración entre BIM y enfoques lean, como Obeya (gran sala) y Shojinka (línea de mano de obra flexible), durante la coordinación basada en BIM para agilizar los procesos de toma de decisiones y finalmente reducir el tiempo de coordinación. (Jang & Lee, 2018) (Ansah, Sorooshian, Mustafa, & Duvvuru, 2016)

3.2.21 Manejo de costos Para la industria de la construcción, el costo del proyecto en la administración está estrechamente relacionado con el progreso y la calidad del proyecto. En consecuencia, cómo ahorrar en el costo del proyecto, garantizar el progreso del proyecto y la calidad, resulta ser un tema candente.

La introducción de la tecnología BIM mejora el control de costos del proyecto de construcción mediante la teoría de la construcción Lean. A través de la muestra de un caso real (Wen, 2014), se ilustra que la introducción de la teoría de construcción eficiente y la tecnología BIM en los proyectos de construcción puede efectivamente mejorar la eficiencia del proyecto de construcción, reducir las actividades sin valor agregado, controlar los costos de manera eficiente y maximizar el valor del proyecto y satisfacer las necesidades del cliente. (Xu & Qian, 2013)

3.2.22 Control de Producción Los métodos que incluyen Lean Construction Management (LCM) y BIM junto con la tecnología de seguimiento y detección de progreso tienen el potencial de ayudar al personal de construcción en algunas de sus desafiantes tareas laborales: (a) planear con información confiable de alta fidelidad, y (b) detectar y rastrear progreso basado en la presencia de intercambios o en la finalización de la actividad. (von Heyl & Teizer, 2017) Lo que permite reducir el desperdicio y el costo, suavizar los procesos, mejorar la productividad y mejorar la colaboración entre las diferentes partes interesadas. (Ratajczak, Schimanski, Marcher, Riedl, & Matt, 2013)

3.2.23 Plan de construcción Los resultados demuestran un aumento en la previsibilidad en la planificación de la construcción, haciendo que el cronograma sea más acorde con lo que realmente se logra en el campo, les dio a los sujetos una conciencia situacional, lo que los llevó a realizar el trabajo correcto, mejorando la cooperación entre las partes interesadas, mejoró el flujo del proceso y eliminó el desperdicio. reduciendo la repetición del trabajo y el tiempo perdido. (Gurevich & Sacks, 2014) (Nascimento, Sotelino, Lara, Caiado, & Ivson, 2017)

3.2.24 Caso de Estudio Promoviendo el uso de enfoques BIM-Lean se contribuye al conocimiento sobre la adopción de BIM al mostrar cómo las prácticas Lean reducen los problemas relacionados con la coordinación dentro de la organización del proyecto. Por lo tanto, el modelado de información de construcción en conjunto con las prácticas Lean se puede usar en proyectos de construcción para mejorar el desempeño del proyecto, la planificación de la previsibilidad, la integración entre las partes interesadas, generando una mejora continua de la gestión de ingeniería.

3.2.25 Puentes Para el caso de la interacción BIM-Lean en puentes, según Omar Sánchez et al. (Giovanny, Alberto, & Yerson, 2017) ofrece grandes beneficios al mejorar la precisión y reducir la incertidumbre en el cálculo de las cantidades de trabajo, permitiendo que la productividad y el costo-beneficio de los proyectos sean más efectivos y beneficiosos para los constructores.

3.2.26 Conceptos Básicos Dentro de la revisión de esta sección se ha logrado encontrar tres aspectos relevantes:

El concepto principal habla de las sinergias que se presentan entre BIM y Lean aplicadas en las fases de diseño y construcción, pues de acuerdo con la documentación, se evidencia que el uso integrado de ambas tecnologías posee una gran cantidad de potencial hacia la eficiencia.

El segundo aspecto corresponde a la reducción de desperdicio, tiempo y costos, al implementar ambos conceptos en conjunto el tiempo total del proyecto y el costo podría optimizarse para un límite, se logran eliminar desperdicios y la calidad aumenta a un nivel considerable (Onyango, 2016) (Oskouie, Gerber, Alves, & Becerik-Gerber, 2012) (Arokiaprakash, Kannan, & Manikanda Prabhu, 2017) (Ningappa, 2011)

Como último aspecto se encuentra el factor cliente, aunque no es un factor que se evalúe en la misma cantidad que los anteriores aspectos, se considera que la interacción BIM-Lean puede llegar a garantizar a que los clientes obtengan el máximo valor de su inversión (Dave, Koskela, & Kiviniemi, 2013), y que se sugiere un cambio interno en la organización del cliente dado a que BIM no se ajusta al proceso de adquisición tradicional (Bolpagni, Burdi, & Ciribini, 2017). De esta forma se lograría ofrecer un mayor valor al cliente proporcionando un mayor impulso para su redefinición (Gerber, Becerik-Gerber, & Kunz, 2010).

3.2.27 Práctica arquitectónica A través de la implementación de tecnologías BIM y Lean, buscando mejoras de eficiencia hacia una arquitectura Lean, Y. Arayici et al. (Tezel et al., 2017) usan una visión sociotécnica en donde no solo consideran la implementación de la tecnología, sino que también involucran el entorno sociocultural, obteniendo como resultado logros de eficiencia en procesos de diseño mediante la eliminación de desechos y generación de valor.

3.2.28 Aplicación/Implementación A partir de la revisión bibliográfica de esta área, según Kalyan Vaidyanathan et al. (Vaidyanathan, Mohanbabu, Sriram, & Rahman, 2016) y su caso de estudio en India, muestra que a través de la implementación de Lean y BIM en procesos de construcción, el equipo pudo aumentar la confiabilidad de completar los ciclos de vertido, eliminar retrasos y reducir el tiempo del ciclo.

3.3 Exposición de las Tendencias de Investigación en Cuanto a las Interacciones entre BIM Y LEAN Construction en la Planificación de Proyectos de Construcción.

En la etapa final de esta revisión sistemática se da a conocer los resultados obtenidos de las tendencias en investigación que se están dando partiendo de las interacciones existentes entre la metodología Building Information Modeling (BIM) y la filosofía de construcción Lean (Construcción sin pérdidas) en la planificación de proyectos de construcción, mediante la comparación de la categorización efectuada durante la realización de esta revisión y las sinergias seleccionadas como se muestra en la Tabla 5.

Se observó las categorías y las sinergias en donde el manejo de BIM y Lean está más familiarizado, más implementado con un mejor manejo del tema y las de menor investigación e

implementación de BIM, con la salvedad de que la puntuación aquí obtenida fue netamente a juicio del autor.

Tabla 5.

Categorías con mayor puntaje de aceptación. Elaboración Propia.

Categoría	Puntaje
Diseño	22
Manejo Visual	16
Flujo de Información	14
Último Planificador	13
Manejo de Costos	12

Tabla 6.

Sinergias con mayor puntaje de aceptación. Elaboración Propia.

Cod. De Sinergias	Puntaje
S19	15
S26	15
S23	14
S15	13
S30	13

4. Conclusiones

Muchos estudios datan la importancia y los beneficios que generan la implementación de nuevas tecnologías a todos los proyectos de industria de la Arquitectura Ingeniería, y Construcción (AEC), pero hay poca información que se pueda conocer del tema desde la academia y de los cursos de Ingeniería Civil, por lo que se sugiere que se conozca y se investigue más el tema desde las aulas donde se genere y se exploten más los beneficios que tienen y pueden llegar a tener las prácticas de BIM y la filosofía Lean.

Se propone que implementar de Building Information Modeling (BIM) y la filosofía de construcción Lean en todos los proyectos de la industria AEC es un gran beneficio, pero se debe tener cuenta que para poder lograr una buena comunicación entre los diferentes grupos de trabajo incluyendo los usuarios finales esta implementación debe estar disponible en línea con el fin de aportar toda la información en menor tiempo evitando los intermediarios haciendo más eficiente la elaboración de informes, la asignación de tareas y así generar un valor agregado a los proyectos.

Tabla 7.

Tendencias de Investigación en Cuanto a las Interacciones entre BIM Y Lean Construction.

Categorías	Sinergias	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	Σ	
Aplicación / Implementación		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	7	
Práctica Arquitectónica		0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	9	
Conceptos Básicos		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	8	
Puentes		0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	7	
Casos de Estudio		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	6	
Plan de Construcción		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	10	
Control de Producción		0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	10	
Manejo de Costos		1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	11	
Retrasos		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	8	
Diseño		1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	22	
Educación		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sostenibilidad		1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	11	
Implementación		1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	11	
Flujo de Información		0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	14	
Cosas de Internet		0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	10	
Último Planificador		0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	12	
Mantenimiento		1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	
Logística de Materiales		0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	7	
Construcción Modular		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5	
Prefabricación		0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	10
Control de Calidad		1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	5	
Gestión de Riesgos		0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	5	
Simulación nD		0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	9	
Herramienta		0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	6	
Realidad Virtual		1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	
Manejo Visual		1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	16	
Gestión de Residuos		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	
Equipos de Trabajo		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	9	
Σ		9	12	3	9	6	5	10	7	7	4	7	6	10	4	13	4	9	8	15	4	12	9	14	4	5	15	9	5	7	13		

Referencias Bibliográficas

- Ahuja, R., Sawhney, A., & Arif, M. (2014). Bim based conceptual framework for lean and green integration. *Understanding and Improving Project Based Production, 201301*, 123–132.
- Ahuja, R., Sawhney, A., & Arif, M. (2017). Driving lean and green project outcomes using BIM: A qualitative comparative analysis. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.10.006>
- Al Hattab, M., & Hamzeh, F. (2017). A Process-Social Perspective for Understanding Design Information Flow. *Lean Construction Journal*, 11, 1–11. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=123824110&site=ehost-live>
- Al Hattab, M., & Hamzeh, F. R. (2013). Information flow comparison between traditional and BIM-based projects in the design phase. *Proceedings for the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (July), 761–770. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2362.5766>
- Alarcón, L. F., Mandujano, M. G., & Mourgues, C. (2013). Analysis of the implementation of VDC from a lean perspective: Literature review. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, (56 2), 100–109. <https://doi.org/http://iglc.net/Papers/Details/865>
- Albahri, A. H., & Hammad, A. (2017). Simulation-Based Optimization of Surveillance Camera Types, Number, and Placement in Buildings Using BIM. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(6), 04017055. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000704](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000704)
- Alvarenga, T. W., da Silva, E. N., & de Brito Mello, L. C. B. (2017). BIM and Lean Construction: The Evolution Obstacle in the Brazilian Civil Construction Industry. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7(5), 1904–1908. Retrieved from <http://eds.b.ebscohost.com.libezp.utar.edu.my/eds/detail/detail?vid=0&sid=25a5f28f-89d4-4d9e-ae67->

c3e1c07f567f%40sessionmgr102&bdata=JnNpdGU9ZWRzLWxpdmUmc2NvcGU9c2l0ZQ%3D%3D#db=iih&AN=125774860

- Ansah, R. H., Sorooshian, S., Mustafa, S. Bin, & Duvvuru, G. (2016). Advancing Towards Delay-Free Construction Project: A Review. *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Detroit, Michigan, USA, September 23-25*, 744–751. Retrieved from <http://ieomsociety.org/ieomdetroit/pdfs/252.pdf>
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction*, 20(2), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.016>
- Arokiaprakash, A., Kannan, S., & Manikanda Prabhu, S. (2017). Formulize construction and operation management by integrating BIM and lean. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 991–1001. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85019167751&partnerID=40&md5=af23f610cc8f3d0ec96e491d6fde5435>
- AUTODESK. (n.d.). What Is BIM | Building Information Modeling | Autodesk. Retrieved February 13, 2018, from <https://www.autodesk.com/solutions/bim>
- BELMAR, K. G. O. (2017). *EXPLORACIÓN DE UN MARCO DE PLANIFICACIÓN LEAN-BIM: UN SISTEMA LAST PLANNER Y BIM BASADO EN 2 CASOS DE ESTUDIO*. UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO.
- Bhatla, A., & Leite, F. (2012). Integration Framework of BIM With the Last Planner System. *20th International Group for Lean Construction*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013>
- Bolpagni, M., Burdi, L., & Ciribini, A. L. C. (2017). Integration of Lean Construction and Building Information Modeling in a Large Client Organization in Massachusetts. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, II(July)*, 79–86. <https://doi.org/10.24928/2017/0311>
- Botero, L. F., Isaza Pulido, J. A., & Vázquez Hernández, A. (2015). Estado De La Práctica Del Bim -Colombia 2015. *Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia Da Construção*, (1), 494–502.

- Breit, M., & Arnold, N. (2010). Digital Simulation in Lean Project Development. *Proceedings IGLC-18*, 622–632.
- Briner, R. B., & Denyer, D. (2012). Systematic Review and Evidence Synthesis as a Practice and Scholarship Tool. *The Oxford Handbook of Evidence-Based Management*, (January). <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199763986.013.0007>
- Cheng, J. (2015). Construction and Demolition Waste Management using BIM technology. *Waste Management New York NY*, 27(2), 159–160. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.10.012>
- Cheng, J. C. P., & Kumar, S. (2015). A BIM-based framework for material logistics planning. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (July), 33–42. Retrieved from <http://www.iglc.net/papers/details/1158>
- Ciribini, A. L. C., Mastrolembro Ventura, S., & Paneroni, M. (2016). Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project. *Automation in Construction*, 71, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.005>
- Dave, B., Boddy, S., & Koskela, L. (2011). Visilean: designing a production management system with lean and BIM. *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 514–524.
- Dave, B., Boddy, S., & Koskela, L. (2013). Challenges and opportunities in implementing lean and BIM on an infrastructure project. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, 60–69. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84903291737&partnerID=tZOtx3y1>
- Dave, B., Koskela, L., & Kiviniemi, A. (2013). *Implementing Lean in construction. Assets.Highways.Gov.Uk*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013>
- Díaz, H. P., Rivera, O. G. S., & Guerra, J. A. G. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *AVANCES Investigacion En Ingenieria*, 11(1), 32–53.
- Dubler, C. R., Messner, J. I., & Anumba, C. J. (2010). Using lean theory to identify waste

associated with information exchanges on a building project. *Proc. Constr. Res. Congr.*, (Cic), 708–716. [https://doi.org/10.1061/41109\(373\)71](https://doi.org/10.1061/41109(373)71)

Elena Enache-Pommer, Michael J. Horman, John I. Messner, & Riley, D. (2010). A Unified Process Approach to Healthcare Project Delivery: Synergies between Greening Strategies, Lean Principles and BIM, 1376–1385.

Fernández-Solís, J. L., & Lavy, S. (2008). BSRI (Building Sustainability Rating Index) for Building Construction. *Proceedings of the 8th International Post Graduate ...*, 2, 1–15. Retrieved from http://scopus.com/citations?view_op=view_citation&continue=/scholar?hl=en&start=240&as_sdt=0,5&scilib=1&citilm=1&citation_for_view=n2mStcoAAAAJ:epqYD VWIO7EC&hl=en&oi=p

Filho, J. B. P. D., Angelim, B. M., & Neto, J. de P. B. (2016). Virtual Design and Construction Leaner Than Before. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (July). Retrieved from <http://iglc.net/Papers/Details/1356>

Gerber, D. J., Becerik-Gerber, B., & Kunz, A. (2010). Building Information Modeling and Lean Construction: Technology, Methodology and Advances From Practice. *18th Annual Conference*, 1–11.

Giovanny, O., Alberto, S. J., & Yerson, G. H. P. (2017). BrIM 5D models and Lean Construction for planning work activities in reinforced concrete bridges Modelos BrIM 5D y Lean Construction para planificar actividades de, 26(46), 39–50. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19053/01211129.v26.n46.2017.7314>

Graham, G., Evans, R. B., Çelik, B. G., & Gould, F. E. (2012). Can we teach lean construction methods in schools of architecture? *IGLC 2012 - 20th Conference of the International Group for Lean Construction*, (401). Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874498335&partnerID=tZOTx3y1>

Grupo Técnico de Trabajo de Educación de BIM Forum Chile. (n.d.). Definición BIM – BIM Forum Chile. Retrieved February 13, 2018, from <http://www.bimforum.cl/definicion-bim/>

Gurevich, U., & Sacks, R. (2014). Examination of the effects of a KanBIM production control system on subcontractors' task selections in interior works. *Automation in Construction*, 37, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.003>

- Gutiérrez Vélez, 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, 1 recurs electrònic. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/76698>
- Haiati, O., von Heyl, J., & Schmalz, S. (2016). Bim and Sequence Simulation in Structural Work – Development of a Procedure for Automation. *Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction*, (August), 73–82.
- HILDEBRANDT GRUPPE. (n.d.). ¿En qué consiste el modelo BIM? - Hildebrandt. Retrieved February 15, 2018, from <http://www.hildebrandt.cl/en-que-consiste-el-modelo-bim/>
- Hyatt, B. A. (2011). A case study in integrating lean, green, BIM into an undergraduate construction management scheduling course. *ASC Annual International Conference, 2007*. Retrieved from <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2011/paper/CEUE304002011.pdf>
- Idra, E. (2017). Green Bim – a Lean Approach To Sustainability Assessment, 2016–2017.
- Jang, S., & Lee, G. (2018). Impact of organizational factors on delays in bim-based coordination from a decision-making view: A case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(1), 19–30. <https://doi.org/10.3846/jcem.2018.296>
- KAIZEN Arquitectura & Ingenieria. (n.d.). ¿QUÉ ES EL BIM? Retrieved February 14, 2018, from <http://www.kaizenai.com/bim/que-es-el-bim/>
- Khodeir, L. M., & Othman, R. (2016). Examining the interaction between lean and sustainability principles in the management process of AEC industry. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.12.005>
- Lean Construction Institute. (n.d.). Qué es Lean Design & Construction | Lean Construction Institute. Retrieved February 15, 2018, from <https://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-design-construction/>
- Liu, J., & Shi, G. (2017). Quality Control of a Complex Lean Construction Project Based on KanBIM Technology. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(8), 5905–5919. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.01039a>

López, A., Técnico, V., Asociación, D., & De, N. (2016). Hormigón Hormigón, 52–55.

M. C. Garrido, R. Mendes Jr, S. Scheer, & T. F. Campestrini. (2015). *Using BIM for Last Planner System: Case Studies in Brazil . Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings* (Vol. 2015-).

Mahalingam, A., Yadav, A. K., & Varaprasad, J. (2015). Investigating the Role of Lean Practices in Enabling BIM Adoption: Evidence from Two Indian Cases. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(10), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862)

Maltese, S., Moretti, N., Cecconi, F. R., Ciribini, A. L. C., & Kamara, J. M. (2017). A Lean Approach to Enable Sustainability in the Built Environment through BIM. *Techne-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 13(January), 278–286. <https://doi.org/10.13128/Techne-19743>

Mandujano, M. G., Alarcón, L. F., Kunz, J., & Mourgues, C. (2016). Identifying waste in virtual design and construction practice from a Lean Thinking perspective: A meta-analysis of the literature. *Revista de La Construcción*, 15(3), 107–118. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2016000300011>

Mansooreh MOGHADAM, Aladdin ALWISY, & Mohamed AL-HUSSEIN. (2012). Integrated BIM/Lean Base Production Line Schedule Model for Modular Construction Manufacturing, 1271–1280.

Mollasalehi, S., Fleming, A., Talebi, S., & Underwood, J. (2016). Development of an Experimental Waste Framework Based on Bim / Lean Concept in Construction Design. *Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction*, (October), 193–202.

Mollasalehi, S., Rathnayake, A., Aboumoemen, A. A., Underwood, J., Fleming, A., Kulatunga, U., & Coates, P. (2017). How BIM-Lean Integration Enhances the Information Management Process in the Construction Design, 531–538. <https://doi.org/10.24928/2017/0130>

Motamedi, A., Wang, Z., Yabuki, N., Fukuda, T., & Michikawa, T. (2017). Signage visibility analysis and optimization system using BIM-enabled virtual reality (VR) environments. *Advanced Engineering Informatics*, 32, 248–262. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.03.005>

- Murguía, D., Brioso, X., Ruiz-Conejo, L., & Fernandez, L. (2017). Process Integration Framework for the Design Phase of a Residential Building. *Procedia Engineering*, 196(June), 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.225>
- Nascimento, D. L. de M., Sotelino, E. D., Lara, T. P. S., Caiado, R. G. G., & Ivson, P. (2017). Constructability in industrial plants construction: a BIM-Lean approach using the Digital Obeya Room framework. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(8), 1100–1108. <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1385521>
- Nath, T., Attarzadeh, M., Tiong, R. L. K., Chidambaram, C., & Yu, Z. (2015). Productivity improvement of precast shop drawings generation through BIM-based process re-engineering. *Automation in Construction*, 54, 54–68. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.014>
- Ningappa, G. (2011). Use of Lean and Building Information Modeling (BIM) in the Construction Process ; Does BIM make it Leaner ? In *Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree MS IN BUILDING CONSTRUCTION AND INTEGRATED PROJECT DELIVERY SYSTEMS in the School of BUILDING CONSTRUCTION Georgia*, (May), 1–106.
- Onyango, A. F. (2016). Interaction between Lean Construction and BIM, 32. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1048993/FULLTEXT01.pdf>
- Oskouie, P., Gerber, D., Alves, T., & Becerik-Gerber, B. (2012). Extending the Interaction of Building Information Modeling and Lean Construction. *20th Conference of the International Group for Lean Construction*, 1(617), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013>
- Ozturk, G. B., Arditi, D., Yitmen, I., & Yalcinkaya, M. (2016). The Factors Affecting Collaborative Building Design. *Procedia Engineering*, 161, 797–803. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.712>
- Rahman, A., Gonzalez, V. A., & Amor, R. (2013). Exploring the Synergies Between Bim and Lean Construction To Deliver Highly Integrated Sustainable Projects. *Proceedings of AUBEA, Auckland, New Zealand*, (20–22 November), 1–12.
- Rahmani Asl, M., Stoupine, A., Zarrinmehr, S., & Yan, W. (2015). Optimo: A BIM-based Multi-Objective Optimization Tool Utilizing Visual Programming for High Performance Building Design. *Real Time - the 33rd ECAADe Conference*, 1, 673–682. Retrieved from

http://cumincad.scix.net/data/works/att/ecaade2015_130.content.pdf

- Rahmani Asl, M., Zarrinmehr, S., Bergin, M., & Yan, W. (2015). BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. *Energy and Buildings*, *108*, 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.011>
- Ratajczak, J., Schimanski, C. P., Marcher, C., Riedl, M., & Matt, D. T. (2013). Mobile Application for Collaborative Scheduling and Monitoring of Construction Works According to Lean Construction Methods, *8091*, 207–214. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40840-3>
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, *136*(9), 968–980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)
- Sacks, R., Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, *19*(5), 641–655. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.010>
- SALMAN AZHAR. (2011). .D., a.M.Asce[1] SALMAN AZHAR, “.D., a.M.Asce,” Leadersh. Manag. Eng., vol. 11, no. Bazjanac 2006, pp. 241–252, 2011. *Leadership and Management in Engineering*, *11*(Bazjanac 2006), 241–252. Retrieved from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Tauriainen, M., Marttinen, P., Dave, B., & Koskela, L. (2016). The Effects of BIM and Lean Construction on Design Management Practices. *Procedia Engineering*, *164*(June), 567–574. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.659>
- Tezel, A., & Aziz, Z. (2017a). Benefits of visual management in construction: cases from the transportation sector in England. *International Journal of Construction Innovation*, *17*(2), 63–83. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/MRR-09-2015-0216>
- Tezel, A., & Aziz, Z. (2017b). From conventional to it based visual management: A conceptual discussion for lean construction. *Journal of Information Technology in Construction*, *22*(October), 220–246.
- Tezel, A., & Aziz, Z. (2017c). Visual management in highways construction and maintenance in

- England. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(3), 486–513. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0052>
- Tezel, A., Koskela, L., & Aziz, Z. (2018). Lean thinking in the highways construction sector: motivation, implementation and barriers. *Production Planning and Control*, 29(3), 247–269. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1412522>
- Tezel, A., Koskela, L., Aziz, Z., Saieg, P., Sotelino, E. D., Nascimento, D. L. de M., ... Arif, M. (2017). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction*, 20(8), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.016>
- Tillmann, P., Viana, D., Sargent, Z., & Tommelein, I. (2015). Bim and Lean in the Design - Production Interface of Eto Components in Complex Projects. *Iglc*, 331–340.
- Toledo, M., Olivares, K., & González, V. (2016). Exploration of a Lean-Bim Planning Framework: A Last Planner System and Bim-Based Case Study. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 3–12. Retrieved from <http://iglc.net/Papers/Details/1291>
- Vaidyanathan, K., Mohanbabu, S., Sriram, P., & Rahman, S. (2016). Application of Lean Principles To Managing Construction of an It Commercial Facility – an Indian. *In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA*, (40), 183–192.
- von Heyl, J., & Teizer, J. (2017). Lean Production Controlling and Tracking Using Digital Methods, *II*(July), 127–134. <https://doi.org/10.24928/2017/0238>
- Wen, Y. (2014). Research on Cost Control of Construction Project Based on the Theory of Lean Construction and BIM : Case Study. *The Open Construction & Building Technology Journal*, 382–388.
- Wenchi Shou, Xiangyu Wang, Jun Wang, Hou, L., & Martijn Truijens. (2014). Integration of BIM and Lean Concepts to Improve Maintenance Efficiency: A Case Study. *COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING*, 455–462. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.053>
- Xu, Y. G., & Qian, C. (2013). Lean Cost Analysis Based on BIM Modeling for Construction

Project. *Applied Mechanics and Materials*, 457–458, 1444–1447.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.457-458.1444>

Yue, G., Jun Fang, & Xuhui Chen. (2016). Implementation of Lean Construction under the New-Type Building Industrialization Background in China, (Lock 2007), 342–350.

Zhang, X., Azhar, S., Nadeem, A., & Khalfan, M. (2018). Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams. *International Journal of Construction Management*, 18(4), 293–300.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1382083>

Zheng, L., Lu, W., Chen, K., Chau, K. W., & Niu, Y. (2017). Benefit sharing for BIM implementation: Tackling the moral hazard dilemma in inter-firm cooperation. *International Journal of Project Management*, 35(3), 393–405.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.01.006>

Apéndices

Apéndice A

Tabla A.1 Principios Lean. Adaptación *Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction* (Sacks, Koskela, et al., 2010)

Área principal	Principio	Columna clave
Proceso de flujo	Reducir la variabilidad	
	Obtenga la calidad correcta la primera vez, reduzca la variabilidad del producto	A
	El enfoque en mejorar la variabilidad del flujo aguas arriba reduce la variabilidad de la producción	B
	Reducir los tiempos de ciclo	
	Reducir la duración del ciclo de producción	C
	Reducir el inventario	D
	Reduzca los tamaños de lote (esfuércese por el flujo de una sola pieza)	E
	Aumenta la flexibilidad	
	Reducir los tiempos de cambio	F
	Usa equipos multi especializados	G
	Seleccione un enfoque de control de producción apropiado	
	Usar sistemas de extracción	H
	Nivele la producción	I
	Estandarizar	J
	Instituto de mejora continua	K
	Usa la gestión visual	

Área principal	Principio	Columna clave
	Visualice los métodos de producción	L
	Visualice el proceso de producción	M
	Diseña el sistema de producción para flujo y valor	
	Simplificar	N
	Usa procesamiento paralelo	O
	Use solo tecnología confiable	P
	Asegurar la capacidad del sistema de producción	Q
Proceso de generación de valor	Asegurar la captura integral de los requisitos	R
	Centrarse en la selección del concepto	S
	Asegurar el flujo de requisitos hacia abajo	T
	Verificar y validar	U
Resolución de problemas	Ve y velo por ti mismo	V
	Decida por consenso, considere todas las opciones	W
Socios en desarrollo	Cultivar una red extendida de socios	X

Tabla A.2 Funcionalidades BIM. Adaptación de *Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction* (Sacks, Koskela, et al., 2010)

Escenario	Área funcional y función	Fila clave
Diseño	Visualización de forma	
	Evaluación estética y funcional	1
	Generación rápida de diseño de múltiples alternativas	2
	Reutilización de datos modelo para análisis predictivos	
	Análisis predictivo del rendimiento	3
	Estimación automática de costos	4

Escenario	Área funcional y función	Fila clave
	Evaluación de la conformidad con el valor del programa/cliente	5
	Mantenimiento de la integridad del modelo de información y diseño	
	Fuente de información única	6
	Control de choques automatizado	7
	Generación automatizada de dibujos y documentos	8
Diseño y detalle de fabricación	Colaboración en diseño y construcción	
	Edición multiusuario de un único modelo de disciplina	9
	Visualización multiusuario de modelos multidisciplinarios fusionados o separados	10
Preconstrucción y construcción	Generación rápida y evaluación de alternativas de planes de construcción	
	Generación automatizada de tareas de construcción	11
	Simulación del proceso de construcción	12
	Visualización 4D de los horarios de construcción	13
	Comunicación en línea/electrónica basada en objetos	
	Visualizaciones del estado del proceso	14
	Comunicación en línea de información sobre productos y procesos	15
	Fabricación controlada por computadora	16
	Integración con las bases de datos de la cadena de suministro del socio del proyecto	17
	Provisión de contexto para la recopilación de datos de estado en sitio/fuera del sitio	18

Tabla A.4 Matriz de interacción: explicaciones de los contenidos de las celdas. Adaptación de *Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction* (Sacks, Koskela, et al., 2010)

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
1	Debido a una mejor apreciación del diseño en una etapa temprana, y también debido a la evaluación funcional temprana del diseño contra los requisitos de rendimiento (como energía, acústica, eólica, térmica, etc.), la calidad del producto final es más alta y más consistente con intento de diseño. Esto reduce la variabilidad comúnmente introducida por los cambios tardíos iniciados por el cliente durante la etapa de construcción.	Eastman et al. 2008, p. 390; Manning y Messner 2008
2	El modelado de edificios impone un rigor a los diseñadores en el sentido de que los defectos o partes incompletamente detalladas se observan o atrapan fácilmente en el control de choques u otras comprobaciones automáticas. Esto mejora la calidad del diseño, evitando que los diseñadores "hagan cosas" (Koskela 2004a) y reduciendo la repetición en el campo como resultado de un diseño incompleto.	Dehlin y Olofsson 2008; Eastman et al. 2008, p. 422
3	Los sistemas de construcción son cada vez más complejos. Incluso los profesionales capacitados tienen dificultades para generar modelos mentales precisos con dibujos solo. BIM simplifica la tarea de comprender los diseños, lo que ayuda a los planificadores de la construcción a manejar productos complejos.	Eastman et al. 2008, p. 382
4	Como todos los aspectos del diseño se capturan en un modelo 3D, el cliente puede entender fácilmente; los requisitos se pueden capturar y comunicar de manera exhaustiva durante la etapa de desarrollo del concepto. Esto también puede empoderar a más partes interesadas del proyecto para participar en la toma de decisiones de diseño.	Eastman et al. 2008, p. 378; Manning y Messner 2008

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
5	La creación de prototipos virtuales y la simulación debido a la inteligencia incorporada en los objetos del modelo permiten la verificación automatizada contra las normas de diseño y construcción, que a su vez hacen que la verificación y la validación del diseño sean más eficientes.	Eastman et al. 2008, p. 390; Khanzode et al. 2008
6	Con BIM, Gemba se puede aumentar porque ahora es posible visitar virtualmente el proyecto y el sitio de trabajo (Whyte 2002). Con objetos que contienen inteligencia e información paramétrica, la resolución de problemas también es más eficiente.	Whyte 2002
7	BIM proporciona la capacidad de evaluar el impacto de los cambios de diseño en la construcción de una manera visual que no es posible con los dibujos 2D tradicionales. La manipulación rápida es un facilitador clave para la repetición de este tipo de análisis para múltiples alternativas de diseño (ver también el Ítem 40).	Eastman et al. 2008, p. 378
8	Ahora es posible que los equipos con múltiples habilidades trabajen simultáneamente para generar varias alternativas de diseño en una etapa temprana usando plataformas de integración como Navisworks, Solibri, etc., como se ejemplifica en el estudio de caso del proyecto Castro Valley (Khemlani 2009). Además, en una etapa posterior durante la fabricación / construcción; para cualquier cambio de diseño, el cambio del modelo actualizará automáticamente otra información relevante, como la estimación de costos, la planificación del proyecto, los planos de producción, etc.	Khemlani 2009
9	Probar el diseño según los criterios de rendimiento garantiza que el diseño sea apropiado para la función elegida, reduciendo la variabilidad y mejorando el rendimiento del producto final.	Eastman et al. 2008, p. 390

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
10	El despegue automatizado de la cantidad que está vinculado al modelo BIM es más preciso ya que hay menos posibilidades de error humano; por lo tanto, mejora el flujo al reducir la variabilidad. Además, cambiar el diseño en una etapa posterior también cambia los archivos de cantidades vinculadas; esto asegura que las cantidades sean siempre precisas.	Eastman et al. 2008, p. 425
11	En conjuntos de dibujos y especificaciones 2D, los mismos objetos se representan en múltiples lugares. A medida que avanza el diseño y se realizan cambios, los operadores deben mantener la coherencia entre las múltiples representaciones / vistas de información. BIM elimina completamente este problema al usar una única representación de información de la que todos los informes se derivan automáticamente.	Eastman et al. 2008, p. 422
12	Uso de software capaz de integrar modelos (como Solibri / Navisworks / Tekla) para fusionar modelos, identificar conflictos y resolverlos mediante el refinamiento iterativo de los diferentes resultados del modelo específico de la disciplina en una instalación casi sin errores en el sitio.	Eastman et al. 2008, p. 431
13	La revisión multidisciplinaria del diseño y de los detalles de fabricación, incluida la comprobación de conflictos, permite la identificación temprana de problemas de diseño.	Eastman et al. 2008, p. 362; Khanzode et al. 2008
14	La generación automatizada de tareas para la planificación ayuda a evitar errores humanos como la omisión de tareas o etapas de trabajo.	Eastman et al. 2008, p. 409
15	La simulación de eventos discretos se puede usar para probar y mejorar los procesos de producción y para ejecutar estudios virtuales de primera ejecución que en la construcción son a menudo imposibles o poco prácticos.	Eastman et al. 2008, p. 429

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
16	En la etapa de diseño conceptual, el cambio rápido para preparar las estimaciones de costos y otras evaluaciones de desempeño permite la evaluación de múltiples opciones de diseño, incluido el uso de procedimientos de optimización multiobjetivo, como los algoritmos genéticos.	Eastman et al. 2008, p. 445
17	Se pueden preparar animaciones de secuencias de producción o instalación. Estos guían a los trabajadores en la forma de realizar el trabajo en contextos específicos y son un medio excelente para garantizar que se sigan los procedimientos estandarizados, particularmente cuando la rotación de trabajadores de etapa a etapa es alta, como es común en la construcción.	Eastman et al. 2008, p. 429
18	Cuando se dispone de información actualizada sobre productos en línea, se mejoran las oportunidades para identificar conflictos y errores dentro de tiempos de ciclo cortos, cuando su impacto es limitado.	Eastman et al. 2008, p. 422
19	La transferencia directa de instrucciones de fabricación a maquinaria controlada numéricamente, como la fabricación automatizada de acero o varillas corrugadas, elimina las oportunidades de errores humanos en la transcripción de la información.	Khantzode et al. 2008; Tekla 2009b
20	La entrega directa de información elimina el tiempo de espera, lo que mejora el flujo.	Khemlani 2009
21	La provisión de un fondo de modelo y contexto para escanear códigos de barras o etiquetas RFID y la visualización de los datos de proceso en fondos de modelos permiten informes precisos y una respuesta rápida a problemas de flujo de trabajo.	Vela 2009
22	Rápido cambio de análisis de rendimiento estructural, térmico y acústico; de estimación de costos; y de la evaluación de la	Eastman et al. 2008, p. 386

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
	conformidad con el programa del cliente, todos permiten el diseño colaborativo, los tiempos de ciclo de colapso para el diseño del edificio y los detalles.	
23	El procesamiento paralelo en múltiples estaciones de trabajo de forma coordinada (con bloqueo de elementos editados en cada máquina) colapsa los tiempos de ciclo de actividades de diseño en serie. Cuando el diseño se realizó previamente (es decir, con CAD) en paralelo en diferentes partes, se elimina el tiempo necesario para la integración y coordinación de las diferentes vistas del modelo.	Khemlani 2009
24	Coordinación basada en modelos entre disciplinas, incluida la comprobación de choques. está automatizado, por lo que requiere una fracción del tiempo necesario para la coordinación mediante el uso de superposiciones CAD.	Eastman et al. 2008, p. 422
25	Las tres funciones sirven para reducir el tiempo del ciclo durante la construcción en sí, ya que resultan en programas operativos optimizados, con menos conflictos.	
26	Cuando el estado del proceso se visualiza a través de un modelo BIM, como en el sistema KanBIM, se pueden realizar una serie de actividades consecutivas necesarias para completar un espacio de construcción una detrás de la otra con poca demora entre ellas. Esto acorta el tiempo de ciclo para cualquier espacio o conjunto dado.	Sacks et al. 2010
27	La maquinaria directa controlada por computadora alimentada directamente desde un modelo puede ayudar a acortar los tiempos de ciclo al eliminar la entrada de datos y / o la producción manual que requieren mucha mano de obra, acortando así los tiempos de ciclo. Esto no garantiza tiempos de ciclo reducidos si el tiempo ganado se desperdicia por lotes o espera.	Eastman et al. 2008, p. 333

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
28	La eliminación de los pasos de procesamiento de datos para ordenar o renovar entregas de material, la eliminación de tiempo perdido antes de ordenar, etc., mejora los tiempos de ciclo.	Vela 2009
29	En este caso, se puede decir que la funcionalidad aumenta el inventario de alternativas de diseño. Esto puede considerarse beneficioso en términos de hacer selecciones más amplias, retrasando la selección de una única alternativa hasta el último momento responsable.	Khemlani 2009
30	La visualización en línea y la gestión del proceso pueden ayudar a implementar estrategias de producción diseñadas para reducir los inventarios de trabajo en proceso y el tamaño de los lotes de producción (cantidad de espacios en proceso por un comercio específico en un momento dado), como en el enfoque KanBIM.	Sacks et al. 2009
31	La generación automática de tareas para un escenario de modelo dado y el estado del proyecto reduce drásticamente el tiempo de preparación necesario para cualquier nuevo cálculo o evaluación de una alternativa de cronograma de construcción desde cualquier punto en adelante.	Eastman et al. 2008, p. 345
32	Para máquinas controladas numéricamente, la entrada de datos representa el tiempo de configuración. La comunicación electrónica directa de las instrucciones de proceso desde un modelo elimina esencialmente este tiempo de configuración, haciendo que las ejecuciones de una sola pieza sean viables.	Tekla 2009b
33	Coordinación de diseño entre múltiples modelos de diseño utilizando un visor de modelo integrado en un entorno de trabajo colaborativo, como los descritos por Liston et al. (2001) y Khanzode et al. (2006), permite a los equipos de diseño llevar el	Khanzode et al. 2006; Liston et al. 2001

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
	conocimiento y las habilidades multidisciplinarias a un proceso paralelo.	
34	La visualización del proceso y la comunicación en línea del estado del proceso son elementos clave que permiten a los equipos de producción priorizar sus ubicaciones de trabajo posteriores en términos de su contribución potencial para garantizar un flujo de trabajo continuo posterior que complete los espacios, implementando así un flujo de extracción. Esto es fundamental para el enfoque KanBIM, que extiende el último sistema planificador.	Sacks et al. 2009
35	Cuando los sistemas BIM se integran con las bases de datos de socios de la cadena de suministro, proporcionan un mecanismo poderoso para comunicar las señales para extraer la producción y la entrega de materiales y la información de diseño del producto. Esto también ayuda a que la cadena de suministro sea transparente.	Vela 2009
36	Múltiples usuarios que trabajan en el mismo modelo simultáneamente permiten compartir la carga de trabajo de manera uniforme entre los operadores.	No disponible aún
37	La simulación de eventos discretos puede revelar asignaciones de trabajo desiguales y respaldar la evaluación de asignaciones de trabajo para la producción a nivel.	Li et al. 2009
38	El acceso en línea a los estándares de producción, datos de productos y protocolos de la compañía ayuda a institucionalizar las prácticas de trabajo estándar, haciéndolos fácilmente disponibles y, dentro del contexto, a los equipos de trabajo en el trabajo. Sin embargo, esto depende de la provisión de medios prácticos para que los trabajadores accedan a la información en línea.	Hewage y Ruwanpura 2009; Sacks et al. 2010; Sriprasert y Dawood 2003
39	Cuando las interfaces BIM proporcionan un contexto para el informe de estado en tiempo real, la medición del rendimiento se	No disponible aún

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
	vuelve precisa y factible. La medición del rendimiento dentro de un sistema donde el trabajo está estandarizado y documentado es fundamental para la mejora del proceso.	
40	BIM proporciona un entorno de visualización ideal para el proyecto a lo largo de la etapa de diseño y construcción, y permite la simulación de métodos de producción, equipos temporales y procesos. El modelado y la animación de secuencias de construcción en herramientas "4D" brindan una oportunidad única para visualizar procesos de construcción para identificar conflictos de recursos en tiempo y espacio y resolver problemas de constructibilidad. Esto permite la optimización del proceso mejorando la eficiencia y la seguridad, y puede ayudar a identificar los cuellos de botella y mejorar el flujo.	Eastman et al. 2008, p. 429; Li et al. 2009
41	Se puede decir que la planificación detallada y la generación de múltiples alternativas de grano fino aumentan la complejidad en lugar de simplificar la gestión.	No disponible aún
42	Estas aplicaciones no pueden considerarse tecnologías maduras.	Manning y Messner 2008
43	Cuando los clientes o usuarios finales participan en revisiones simultáneas de diferentes alternativas de diseño del sistema, pueden identificar más fácilmente los conflictos entre sus requisitos y la funcionalidad que proporcionarán los sistemas propuestos.	Eastman et al. 2008, p. 349
44	La generación rápida de alternativas de planes de producción puede permitir que la selección entre ellos se retrase, lo que implica el último momento responsable más tarde de lo que sería de otra manera. Esto se puede considerar como un enfoque basado en conjuntos para el diseño del sistema de producción y la planificación de la producción.	Kong y Li 2009

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
45	El acceso en línea ayuda a llevar la información de diseño más actualizada a la cara del trabajo (aunque no puede garantizar que la información de diseño refleje los requisitos del usuario).	Hewage y Ruwanpura 2009
46	Choque comprobando y resolviendo otros problemas de integración verifica y valida la información del producto.	Li et al. 2009
47	La visualización de los horarios propuestos y la visualización de los procesos en curso verifican y validan la información del proceso.	Dehlin y Olofsson 2008
48	Cuando los gerentes pueden "ver" el estado del proceso con una resolución casi en tiempo real, esto puede sustituir la necesidad de ver los procesos directamente en el sitio. Sin embargo, no puede sustituir ver un proceso con los propios ojos.	Sacks et al. 2009
49	Estas funciones pueden apoyar y facilitar la toma de decisiones participativa proporcionando más y mejor información a todos los involucrados y ampliando la gama de opciones que pueden considerarse. Por supuesto, no pueden por sí mismos garantizar que la administración superior adopte un enfoque de construcción de consenso.	Dehlin y Olofsson 2008
50	La integración de los sistemas de información logísticos y de otra índole de las empresas hace que las relaciones de trabajo que van más allá de los proyectos individuales valgan la pena y sean deseables.	No disponible aún
51	Uso y reutilización de modelos de diseño para configurar modelos de análisis, como energía, acústica, eólica, térmica, etc. reduzca el tiempo de configuración y permita ejecutar análisis más variados y detallados.	No disponible aún
52	El abuso de la facilidad con la que se pueden generar los dibujos puede dar lugar a que se preparen e impriman más versiones de	No disponible aún

Índ	Explicación	Evidencia de la práctica y / o investigación
	dibujos y otros informes de información de los necesarios, lo que aumenta innecesariamente los inventarios de dibujos.	
53	La generación automatizada de dibujos, especialmente dibujos de tiendas para la fabricación de acero o prefabricados, por ejemplo, permite en parte la revisión y la producción en lotes más pequeños porque la información puede proporcionarse a pedido. A diferencia del Artículo 52 anterior, este y el siguiente ítem son interacciones positivas de la producción automática de dibujos.	No disponible aún
54	La generación automática de dibujos mejora la capacidad de ingeniería en comparación con el diseño en 2D, y es una tecnología más confiable porque produce conjuntos de dibujos coordinados adecuadamente.	Sacks y Barak 2008; Tekla 2009a
55	Se pueden preparar animaciones de secuencias de producción o instalación. Estos guían a los trabajadores en la forma de realizar el trabajo en contextos específicos y son un medio excelente para garantizar que se sigan los procedimientos estandarizados, particularmente cuando la rotación de trabajadores de etapa a etapa es alta, como es común en la construcción.	Dehlin y Olofsson 2008
56	Compartir modelos entre todos los participantes de un equipo de proyecto mejora la comunicación en la fase de diseño incluso sin producir dibujos, lo que ayuda a garantizar que los requisitos se entienden y transmiten a través del equipo y a los constructores y proveedores.	No disponible aún