

SINERGIAS BIM-LEAN EN EL CONTROL DE PROYECTOS

**Lean Construction y BIM en la Mitigación de Pérdidas en Procesos de Construcción,
Durante el Control de Proyectos**

Jean Paul Nova López

Yeison Arley Serrano Ardila

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Guillermo Mejía Aguilar

PhD. Construction Engineering

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

CONTENIDO

Introducción	11
1. Marco conceptual	14
1.1. Building Information Modeling (BIM)	14
1.2. Lean Construction	15
1.2.1 Tendencias de Lean en la actualidad.....	16
1.3. Sinergias Lean Construction y BIM.....	16
1.3.1 Principios Lean.....	17
1.3.2 Funcionalidades Building Information Modeling (BIM).....	19
2. Objetivos	22
2.1. Objetivo General	22
2.2. Objetivos Específicos	22
3. Alcance.....	23
3.1. Tipos de Perdidas	23
3.2. Categorización de las Sinergias.....	23
3.3. Sinergias BIM-Lean	24
4. Metodología	24
4.1. Sinergias	24

4.2. Clasificación.....	25
4.3. Sinergias de Control.....	25
4.4. Estado del arte	26
5. Resultados	26
5.1. Clasificación de las sinergias postuladas	26
5.1.1 Factibilidad.....	29
5.1.2 Diseño.....	29
5.1.3 Control.....	30
5.2. Aplicaciones actuales de las sinergias.....	34
5.3. Recomendaciones.....	40
5.3.1 Primera recomendación: modelos 3D detallados, uso de software para modelación, información de modelos actualizada y disponible.	41
5.3.2 Segunda recomendación: automatización de procesos y “Social Network”.....	42
5.3.3 Tercera recomendación: optimización de flujo de entregables, desglose de entregables en pequeñas tareas, estandarización de tareas.....	43
5.3.4 Cuarta recomendación: Monitoreo del proyecto, medición de desempeño, documentación del mismo	44
6. Conclusiones	45
Referencias	47

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Principios Lean</i>	17
Tabla 2. <i>Funcionalidades BIM</i>	20
Tabla 3. <i>Artículos BIM-LEAN clasificados en las etapas de factibilidad, diseño y control.</i>	38
Tabla 4. <i>Características de implementación de modelos en los proyectos</i>	41
Tabla 5. <i>Beneficios de la WBS.</i>	44

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Clasificación de las sinergias y su leyenda para la tabla 3.....	27
Ilustración 2. Sinergias entre Lean construction y Building Information Modeling	28
Ilustración 3. Sinergias como porcentajes respecto a la matriz de sinergias.....	29
Ilustración 4. Matriz BIM-LEAN, Sinergias factibilidad	35
Ilustración 5. Matriz BIM – LEAN, sinergias diseño.....	36
Ilustración 6. Matriz BIM – LEAN, sinergias control	37

Resumen

Título: Lean construction y bim en la mitigación de pérdidas en procesos de construcción, durante el control de proyectos.*

Autores: Jean Paul Nova Lopez

Yeison Arley Serrano Ardila**

Palabras clave: Bim, lean, sinergias proyectos.

Descripción:

La búsqueda de metodologías que permitan mitigar las pérdidas en procesos de construcción es una tendencia en la actualidad. Con lo cual cada vez más se fortalece la gestión de proyectos. Este artículo integra dos metodologías que se encuentran en auge actualmente, Lean Construction y Building Information Modeling (BIM), en base al artículo “Interaction of lean and building information modeling in construction” dentro del cual se describen 56 sinergias, y se categorizaron en tres etapas que son: factibilidad, diseño y control. Se analizaron las sinergias presentes en la etapa de control debido al enfoque del artículo y se generaron algunas recomendaciones para mitigar pérdidas en la etapa de control, como el uso de software y modelos 3d, automatización de procesos en pro de reducir el error humano, el uso de Work Breakdown Structure, monitoreo y control a partir de la documentación de proyectos. Cumpliendo con la finalidad del artículo podríamos concluir que aplicar estas metodologías permite controlar errores humanos mediante la automatización, mejorar la detección de conflictos en etapas tempranas para la mitigación de riesgos, tener una ejecución efectiva del proyecto, mejorar en la comunicación, ver de mejor forma la gestión del proyecto, mayor facilidad de controlar las actividades, permitir generar estrategias para optimizar y controlar características del proyecto como costos de operación y mantenimiento, calidad y verificación de soluciones.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar, PhD. Construction Engineering

Abstract

Title: Lean construction y bim en la mitigación de pérdidas en procesos de construcción, durante el control de proyectos.*

Authors: Jean Paul Nova Lopez

Yeison Arley Serrano Ardila**

Keywords: Bim, lean, sinergias proyectos.

Description:

The search for methodologies that allow mitigating the losses in the construction processes is a trend at present, and with which increasingly the project management is strengthened. This article integrates two methodologies that present themselves in a current boom, Lean Construction and Building Information Modeling (BIM), based on the article "Interaction of lean and building information modeling in construction" within each 56 synergies, and is categorized into three Stages that are: feasibility, design and control. The synergies present in the control stage will be analyzed due to the focus of the article and some recommendations will be generated to mitigate losses in the control stage, such as the use of software and 3d models, automation of processes based on reducing human errors, use of Work breakdown structure, monitoring and control based on project documentation. To comply with the purpose of the article we could apply these methodologies to control errors with automation, improve the detection of conflicts in the early stages to mitigate risks, have an effective project implementation, improve communication, see better way Project management, easier control of activities, project management.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar, PhD. Construction Engineering

Introducción

La industria de la construcción cuenta con una naturaleza fragmentada que ha trascendido a través de los años debido al enfoque tradicional que se tiene de la entrega de proyectos. El ejemplo más claro de esto son los planos CAD en 2D que no permiten manejar un enfoque colaborativo, siendo así que ingenieros y arquitectos generan sus documentos CAD por separado para presentarlos a las partes interesadas y finalmente esto se ve reflejado en reducción de la productividad laboral. Las tecnologías BIM y los principios LEAN por el contrario alientan el trabajo colaborativo entre todas las partes interesadas con el objetivo de presentar planos más detallados, reducir costos y tiempos, (Hergunsel, 2011). Algunos estudios muestran como el uso de los principios LEAN específicamente el LPS llegan a reducir el tiempo total de un proyecto en hasta un 15.57% lo cual termina traducéndose en reducción de costos. En Egipto la aplicación de los principios Lean ha logrado mejorar la planeación, ejecución y funcionamiento de los proyectos (Issa, 2013).

Algunos estudios sugieren la aplicación de nuevas técnicas para minimizar los efectos de los factores de riesgo en el tiempo usando los principios LEAN (Issa, 2013). Evitando así factores como lo son la libre interpretación de modelos debido a la falta de detalles en los mismo y esto ocurre cuando las entregas de proyectos están fragmentadas generando así una gran cantidad de documentos que hace difícil su administración si no se cuenta con un software que pueda asistir en el proceso, lo que genera retrasos en la etapa de diseño, también el trabajo individual por parte de ingenieros y arquitectos ocasiona que muchas veces los diseños se intercepten lo que hace que deban corregirse tomando aún más tiempo del estimado (Pic, 2008). Durante la ejecución de

cualquier tarea si no se cuenta con un plan o un paso a paso de la misma se generan pérdidas o retrasos debido a la inexperiencia y falta de un plan de acción es ahí donde es necesario que el gerente del proyecto aplique los principios LEAN (Issa, 2013).

Teniendo en cuenta las problemáticas anteriores se plantean diferentes soluciones mediante las tecnologías BIM y los principios LEAN con el fin de poder disminuir los desperdicios y reducir los tiempos para poder así aumentar la productividad laboral de cualquier proyecto, en este orden de ideas se puede definir a las tecnologías BIM como “una representación digital de un proyecto junto con sus características intrínsecas con la característica de ser fácil de compartir con el objetivo de tener suficiente información de forma sencilla al momento de querer plantar bases para la toma de decisiones durante el ciclo de vida de un proyecto” (Hergunsel, 2011) y los principios LEAN se pueden entender como “ un conjunto de flujos de producción en pro de desarrollar un sistema con el objetivo de reducir perdidas a través de los procesos” (Issa, 2013), siendo así con la ayuda de las tecnologías BIM se puede garantizar la creación de un modelo colaborativo que sea tan detallado como sea posible, que además se actualice constantemente y que pueda compartirse y sea de fácil y un único entendimiento para todas las partes con el fin de evitar las libres interpretaciones, mientras los principios LEAN buscan la mejora en los procesos aplicando diferentes herramientas como lo son el (LPS), (Issa, 2013) “Last Planer System” sistema basado en la identificación, desglose, planificación y garantía de las tareas a realizar o también (Lean Management) que tiene como filosofía reducir las pérdidas tanto como sea posible y se orienta hacia crear valor agregado al producto final, haciendo uso del sistema de las 5s, un sistema basado en la filosofía japonesa que se centra en cinco pasos

El primero eliminar cualquier herramienta innecesaria y las restantes ubicarlas de forma ordenada, el segundo es garantizar que los flujos de trabajo estén libres de tareas innecesarias, el tercero mantener el lugar de trabajo y las herramientas limpias, el cuarto es asegurarse de que los procesos están estandarizados y pueden ser repetidos, finalmente el quinto paso es plantear reglas y procesos que se deberán seguir al pie de la letra (Nowotarski, Paślawski, & Matyja, 2016).

Como se ha mencionado existe una gran cantidad de herramientas que pueden ser utilizadas mediante BIM – LEAN y se ha demostrado en diferentes casos como la aplicación de estas ha reducido perdidas y tiempos en proyectos es por ello que en recientes estudios se muestra como se han ido arraigando en diferentes países como Nigeria, Ecuador, Chile, Malasia (Issa, 2013) también en países como china donde se ha acogido y extendido el uso de las tecnologías BIM (Herr & Fischer, 2019), en consecuencia de esto con el tiempo se ha ido evaluando la posibilidad de utilizar BIM - LEAN en conjunto debido a que se ha notado como estos dos tienen rasgos similares o que pueden servir como soporte para el uno o el otro, a estos se le denominaran sinergias y se trataran como se muestra en el estudio realizado por (Sacks, Koskela, Dave, & Owen, 2010) “ interaction of Lean and Building information modeling in construction”.

Aunque en este artículo se presentan de forma clara las sinergias esta solo es la definición dada por quienes realizaron este estudio y aunque es totalmente valida existen puntos de vista diferente sobre las sinergias debido a esto no se puede garantizar que se hallan detallado en su totalidad las sinergias presentes entre BIM – LEAN. Con el presente estudio se busca resaltar las pérdidas que aún existen en los proyectos durante la etapa de control y proponer soluciones mediante el uso de las sinergias descritas en el artículo “interaction of Lean and Building information modeling in construction” para así lograr mitigar las perdidas en los procesos de construcción.

1. Marco conceptual

1.1. Building Information Modeling (BIM)

No existe ni es posible dar una definición única y satisfactoria que abarque en su totalidad de lo que es Building Information Modeling (BIM). En cambio, “debe analizarse como un fenómeno complejo, multidimensional e históricamente en evolución el cual integra un conjunto de tecnologías y soluciones organizativas que se espera que aumenten la colaboración inter-organizacional y disciplinaria en la industria de la construcción” (Miettinen & Paavola, 2014). También es importante apuntar a que mejoren la productividad y la calidad del diseño, la construcción y el mantenimiento de los edificios.

“Es pertinente aclarar que BIM se puede describir y dar a entender desde diferentes perspectivas como lo son: BIM como un producto, BIM como un método, BIM como una metodología” (Oraee, Hosseini, Papadonikolaki, Palliyaguru, & Arashpour, 2017). Aunque no es necesario entenderlo desde cada perspectiva el hacerlo implica que el concepto sobre BIM sea aún más completo, “uno de los aspectos más destacados sobre BIM es el hecho de que este se mantiene en constante cambio debido a los nuevos métodos emergentes y su utilización en la práctica” (Matějka & Tomek, 2017), la promesa tecnológica de BIM tiene sus bases en la idea de la interoperabilidad y la información totalmente compartida que permiten las TIC y los estándares.

1.2. Lean Construction

Lean Construction es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, 2014).

Así pues, Lean Construction podría entenderse como una aplicación de los principios de fabricación y producción japonesa adaptado a la rama de la construcción (Smith, 2014). Uno de los principales propósitos de Lean Construction es la integración y el intercambio de información entre los agentes que intervienen en los procesos constructivos, así pudiendo crear una interacción efectiva para una gestión de producción eficiente (Dave, Kubler, Främling, & Koskela, 2016).

“Un punto importante en esta filosofía es maximizar la productividad de la mano de obra, y la optimización de los recursos y los materiales, además, mejorar la gestión de los problemas relacionados con la variabilidad del proyecto de construcción y la fluidez del flujo de trabajo, este es el llamado ultimo sistema planificador (LPs) por sus siglas en ingles en diseño y aplicando una gestión en el mismo puede llevar a una mejora en la transparencia del proyecto a través de cronogramas, matrices de estructura de diseño y plan porcentual completo” (Tauriainen, Marttinen, Dave, & Koskela, 2016)

Aplicar esta filosofía de una u otra forma cambia el rumbo de un proceso constructivo, existen diferentes formas de aplicarlo, aunque con unas ideas en común.

- producción de flujo
- generación de valor
- entrega justo a tiempo en los procesos de construcción

de tal manera que adoptando estas y aplicando algunas mejoras en los procesos de ejecución se generan beneficios y conducen a una mejora en el rendimiento (Abbasian-Hosseini & otros 2014).

1.2.1 Tendencias de Lean en la actualidad. La crisis económica actual es uno de los motores de búsqueda de metodologías de gestión que permitan mejorar los productos y servicios de las compañías, de lo cual se generan interacciones entre diferentes filosofías para perfeccionar los procesos, ofreciendo mejor calidad a un bajo costo. De esta forma nacen metodologías como Green Lean Six Sigma (GLS) y Lean Six Sigma (LSS).

- GLS, aborda los conceptos de la siguiente forma: Green reduciendo el impacto ambiental negativo del proceso y del producto para hacerlo más respetuoso con el medioambiente, lean en la eliminación de actividades que no agregan valor y en perfeccionar las actividades y Six Sigma reduciendo las variaciones en el proceso y el rechazo de los productos. (Kaswan & Rathi, 2019)
- LSS, combina los métodos y principios de ambas filosofías utilizando el ciclo DMAIC como el marco conjunto de mejora continua y realizar esfuerzos conjuntos para reducir la producción de los defectos y la variabilidad del proceso, junto con la simplificación y estandarización del proceso y la reducción de desechos. (Tenera & Pinto, 2014)

1.3. Sinergias Lean Construction y BIM

Para poder hablar de las Sinergias entre Lean construction y Building information modeling es importante primero hacerse a una idea sobre que pueden ofrecer estos dos modelos de gerencia de

proyectos, para ello se piensa dar una breve explicación sobre que son los principios Lean construction y las funcionalidades Building information modeling.

1.3.1 Principios Lean. Los principios Lean son aquellas prácticas que de realizarse pueden lograr optimizar procesos, reducir perdidas entre otras cosas. Para ser un poco más detallados se presenta a continuación una tabla (Ver Tabla 1) donde se muestra los diferentes principios y subprincipios postulados en el artículo “interacion of BIM and lean construction in construction”.

Tabla 1.
Principios Lean

PRINCIPIO	DESCRIPCION	SUBPRINCIPIOS	
Procesos de flujo			
Reducción de la variabilidad	Reducir la variabilidad de las características significativas del producto	Obtener la calidad deseada para un entregable, haciendo uso de la mínima cantidad de intentos	A
		Reducir la variabilidad en la producción	B
Reducción en el tiempo de los ciclos	Este principio debe enfocarse en la simulación para la selección de un modelo optimo	Reducir la duración de los ciclos de producción	C
		Reducción de inventario	D
Reducir el tamaño de los lotes	Convertir en paquetes actividades y procesos para poder aplicarlos de forma optima	Esforzarse por los flujos de una sola pieza	E
Aumento de la flexibilidad			F

		Reducción de los cambios en el tiempo	
	Reducción en los tiempos de ciclo	Conformación de equipos multidisciplinarios	G
Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado	Rápida generación y evaluación de planes alternativos de construcción	Uso del "Pull System"	H
		Nivelar la producción	I
Estandarización	Reducción de la variabilidad de características		J
Establecer un continuo mejoramiento	mejora continua y reducción de la variabilidad		K
Realizar una gerencia visual	Visualización de los métodos de producción y construcción para reducir variabilidad	Visualizar métodos de producción	L
		Visualizar procesos de producción	M
		Simplificar	N
Diseñar un sistema de producción que tenga en cuenta el flujo y la importancia	Permite ampliar el control de la producción y la mejora continua	Uso de procesos en paralelo	O
		Uso únicamente de tecnología de confianza	P
		Asegurarse de la capacidad del sistema de producción	Q
Procesos de generación de valor			
Asegurarse de realizar los requisitos de forma integral	Planteamiento de las necesidades del proyecto y la forma de suplirlas		R

Enfocarse en los conceptos seleccionados	Dar el énfasis necesario a cada parte del proyecto	S
Garantizar un adecuado flujo de requisitos	Dar importancia a cada detalle por pequeño que sea	T
Verificación y Validación	Deben revisarse todos los diseños para ser validados	U
Solución de problemas		
Revisiones de forma personal	Prever los posibles problemas que pueden llegar a surgir	V
Decidir mediante un consenso, tomando en cuenta todas las opciones	Contar con suficiente personal capacitado a la hora de tomar decisiones	W
Desarrollo de socios		
Cultivar una red de trabajo	crear una red de socios	X

1.3.2 Funcionalidades Building Information Modeling (BIM). Las funcionalidades Building Information Modeling son las diferentes actividades que es posible realizar mediante el

uso de software y tecnologías BIM, en la siguiente tabla se muestran las descritas en el artículo de referencia (Ver Tabla 2).

Tabla 2.

Funcionalidades BIM

FUNCIONALIDAD	DESCRIPCION	SUBFUNCIONALIDADES	
	Diseño		
Visualización de forma	Mejor entendimiento de los diseños mediante creación de modelos realistas	Evaluación estética y funcional	1
Rápida generación de múltiples alternativas de diseño	Manipular de forma eficiente los diseños geométricos, además generar de forma detallada cada elemento		2
		Análisis predictivo de rendimiento	3
Reutilización de datos de otros modelos para un análisis predictivo	uso de herramientas BIM, estimación de costos, chequeo de normatividad	Estimación automatizada de costos	4
		Evaluación del valor de conformidad programa/cliente	5
Mantenimiento de información y diseños de modelos integrados	Almacenamiento de información en bases de datos	Fuente única de información	6
		Control automatizado de impactos	7

Generación automática de planos y documentos	Generación de planos mediante software BIM		8
Diseño y fabricación detallada			
Colaboración multidisciplinaria en las etapas de diseño y construcción	Edición y control de diferentes modelos por parte de equipos multidisciplinarios	Edición multidisciplinaria de modelos mono disciplinarios	9
		Vistas múltiples de modelos multidisciplinarios fusionados o separados	10
Pre construcción y construcción			
Rápida generación y evaluación de alternativas de construcción	Evaluar y analizar la eficacia de los procesos y los modelos	Generación automática de tareas de construcción	11
		Simulación de procesos de construcción	12
		Visualización 4D de cronogramas de construcción	13
		Visualización del estado de los procesos	14
		Comunicación en línea sobre el estado de productos y procesos	15
Comunicación en línea o mediante el uso de aparatos electrónicos	Evaluación del estado del proyecto en línea, mediante el uso de aparatos electrónicos	Fabricación controlada por computadora	16
		Base de datos del proyecto para todas las partes interesadas	17
		Recopilación externa e interna de datos sobre el estado del proyecto	18

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Identificar las estrategias de mitigación de pérdidas en procesos de construcción con la aplicación conjunta de Lean Construction y BIM durante la etapa de control de proyectos.

2.2. Objetivos Específicos

- Categorizar las sinergias presentes entre la filosofía Lean Construction y las tecnologías BIM, descritas en el artículo “Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction”.
- Formular las recomendaciones generales para aplicar las sinergias descritas en procesos de construcción, que son posibles mitigar con la aplicación conjunta de Lean Construction y las tecnologías BIM, durante la etapa de control de proyectos.

3. Alcance

El alcance del proyecto se expondrá en los subíndices presentados a continuación en los cuales se hablará de forma tácita sobre la categorización de sinergias, las sinergias tomadas en cuenta respecto al control de proyectos y los tipos de pérdida sobre las cuales se realizarán recomendaciones.

3.1. Tipos de Perdidas

Los tipos de pérdidas que se tendrán en cuenta según la literatura de Lean Construction serán aquellas que sea posible mitigar mediante el control de proyectos con ayuda de las sinergias seleccionadas.

3.2. Categorización de las Sinergias

Las sinergias descritas en el artículo “Interaction of Lean and Building information modeling in construction” se ubicarán en tres diferentes categorías.

- Factibilidad
- Control

- Diseño

3.3. Sinergias BIM-Lean

Las sinergias a analizar son aquellas que se postulas dentro del artículo “ Intereaction of Lean construction and Building information modeling in construction” (Sacks et al., 2010). De las 56 sinergias mencionadas se tendrán en cuenta aquellas que están relacionadas con el control de proyectos.

4. Metodología

Las funcionalidades BIM y loa principios LEAN se encuentran estrechamente relacionados, Esto se explica de forma muy general en la sección de introducción, basándose en ello y enfocándose en los aportes de los mismos en el control de proyectos se busca mostrar de forma precisa la manera en que se relacionan y pueden aplicarse, apareciendo así las ya definidas “sinergias”.

4.1. Sinergias

De una recopilación bibliografía realizada previamente se presenta la información necesaria para lograr dar la definición de los siguientes términos, Building Information Modeling, Lean

Construction y Sinergias. De la información bibliográfica se resalta un artículo en particular “Intereaction of Lean and Building Information Modeling in construction” en este artículo se presentan un total de 56 sinergias presentes entre Funcionalidades BIM y Principios LEAN, estas sinergias se encuentran descritas y se presentan en forma de matriz (Ver Ilustración 2), a partir de estos datos se realizó una clasificación de las sinergias.

4.2. Clasificación

Las 56 sinergias anteriormente mencionadas se clasificaron en tres grupos, “Factibilidad, Diseño y Control” las definiciones de cada uno de estos términos se pueden encontrar en la sección de resultados, de la misma forma la matriz de sinergias (Ver Ilustración 2) se segregó dejando para cada caso solo las sinergias de cada grupo, de esto se realizó una división porcentual lo que se puede apreciar en la sección de resultados.

4.3. Sinergias de Control

Para efectos del proyecto se hará énfasis en las sinergias de la etapa de control. Al realizar la clasificación se encontraron 23 sinergias, de estas sinergias se tomaron sus respectivas definiciones en inglés y se tradujeron al español para luego reescribirlas. En la sección de resultados se podrán ver las definiciones traducidas al español y reescritas además de un orden numérico con el cual se podrán comprar con la matriz (Ver Ilustración 2).

4.4. Estado del arte

Mediante la ecuación de búsqueda, (TITLE-ABS-KEY) (bim) OR (lean construction) AND (Sinergy) AND (construction projects), de esta ecuación de artículos se generó un gran cantidad de contenido bibliográfico que se filtró por año (2010 en adelante) y tema ingeniería civil, de esto se redujo la búsqueda a 20 artículos los cuales se revisaron y clasificaron según su tema en “Factibilidad, Diseño, Control” (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Para diferenciar el grupo en el que encuentra cada artículo (Ver Ilustración 1).

5. Resultados

5.1. Clasificación de las sinergias postuladas

Las sinergias postuladas en el artículo “Interaction of Lean Construction and Building Information Modeling in Construction” eran un total de 56 estas como se habló anteriormente surgen de la intersección entre los principios Lean y las funcionalidades BIM, para efectos del presente artículo las sinergias anteriormente nombradas se clasificaron en tres grupos (Diseño, Factibilidad, Control) siendo que nosotros nos centraremos en las presentes durante el control de proyectos.

Esta clasificación se podrá observar en la tabla presentada a continuación (Ver Ilustración 2) en esta tabla es válido aclarar que para entenderla mejor las sinergias están segregadas por colores (Ver Ilustración 1).

Etiqueta	Etapa
	Factibilidad
	Diseño
	Control

Ilustración 1. Clasificación de las sinergias y su leyenda para la tabla 3.

A continuación se presenta un gráfico tipo torta (Ver Ilustración 2) que muestra en porcentajes la composición de la matriz (Ver Ilustración 3) donde se puede observar que son pocas las sinergias que se presentan en la etapa de diseño y en cambio las sinergias durante la etapa de control y la etapa de factibilidad son mucho mayores, este fenómeno se presenta debido a que la etapa de diseño solo toma lugar justo antes del inicio del proyecto mientras que la factibilidad y el control pueden presentarse a lo largo del proyecto.

Ahora bien es importante dar definiciones concretas a cada etapa esto con el fin de poder mostrar y dar a entender como se hizo la selección y clasificación de cada una de las sinergias presentes en el artículo “ Interaction of Lean Construction and Building Information Modeling in Construction”.

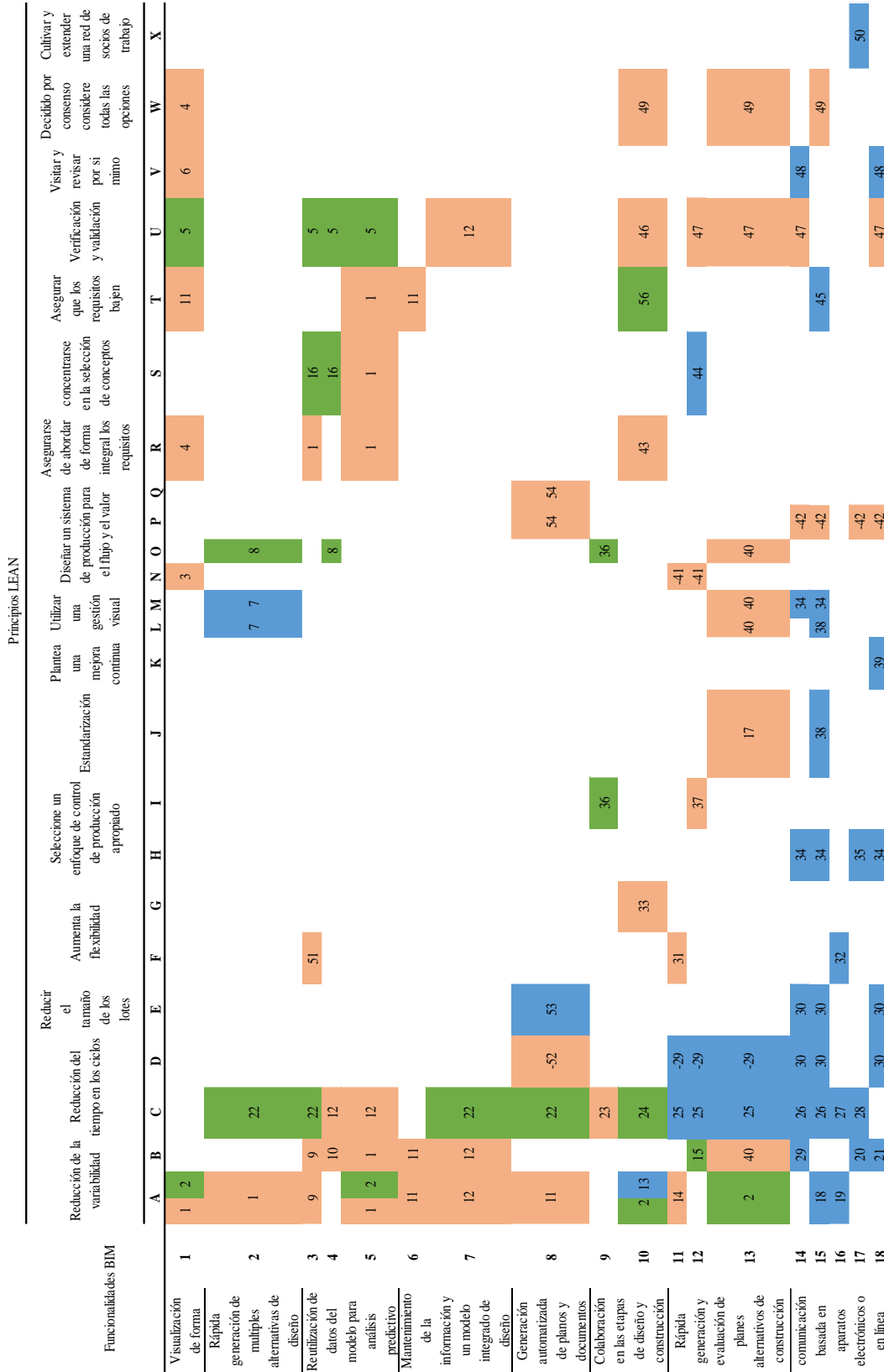


Ilustración 2. Sinergias entre Lean construction y Building Information Modeling

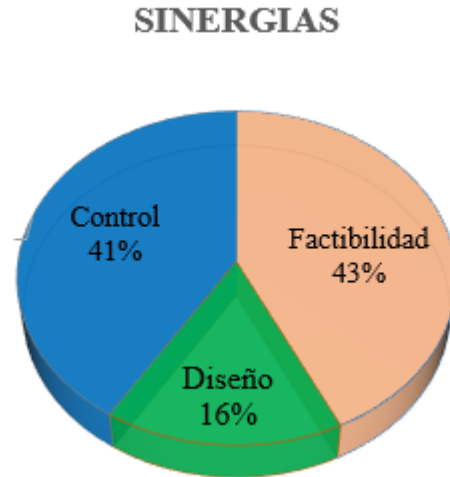


Ilustración 3. Sinergias como porcentajes respecto a la matriz de sinergias

5.1.1 Factibilidad. En esta etapa es posible visualizar diferentes alternativas antes de concretarlas, generalmente esto se logra con ayuda de las tecnologías BIM pudiendo así visualizar modelos y procesos, así mismo el poder visualizar diferentes alternativas hace que al momento de tener que tomar la decisión final esto sea mucho más práctico y además la información sea clara y concisa. Teniendo en cuenta la anterior definición, respecto a la matriz (Ver Ilustración 2) las sinergias que se pueden clasificar en la etapa de factibilidad serán las siguientes (Ver Ilustración 4).

5.1.2 Diseño. Durante esta etapa se genera un diseño que será abalado por todas las partes interesadas, mediante lo cual se pueden generar prototipos y modelos y además se puedan chequear múltiples alternativas de modelo y así tener oportunidad de realizar los cambios necesarios ante cualquier inconveniente o petición, otro factor muy importante es la posibilidad de poder trabajar

de forma paralela con otros especialistas. Teniendo en cuenta la anterior definición, respecto a la matriz (Ver Ilustración 2) las sinergias que se pueden clasificar en la etapa de diseño serán las siguientes (Ver lustración 5).

5.1.3 Control. Durante el control es pertinente la asignación de roles, además, es importante realizar los chequeos para poder garantizar que los diferentes procesos se han ido realizando de forma correcta. Junto con todo lo anterior también deber realizarse una verificación del cumplimiento de los planes y diseños propuestos un cumplimiento de los tiempos de entrega y un control sobre los recursos, también la realización de procesos mediante el uso de computadora. Son estas las pautas que caracterizan la etapa de control. Teniendo en cuenta la anterior definición, respecto a la matriz (Ver Ilustración 2) las sinergias que se pueden clasificar en la etapa de control serán las siguientes (Ver Ilustración 6).

Teniendo en cuenta que el presente artículo se centrara en la etapa de control a continuación se muestra una definición corta de cada una de las sinergias clasificadas en esta sección.

- 7 - BIM permite analizar y evaluar de forma visual cualquier impacto en el proyecto al momento de realizar algún cambio en el mismo, realizar esto de forma rápida hace posible analizar y evaluar múltiples alternativas de diseño, lo cual mediante planos 2D no es posible.
- 13 - Revisiones multidisciplinarias detalladas de diseño y fabricaciones incluyen, pruebas de choque que permiten la identificación temprana de problemas de diseño.

- 18 - Cuando la información actualizada de un producto está disponible en línea, la oportunidad de identificar problemas dentro lapsos cortos de tiempo, cuando su impacto es limitado, aumenta.
- 19 - La transferencia directa de instrucciones de fabricación a maquinaria controlada de forma numérica, tales como la automatización en los procesos de acero o la fabricación de barras de refuerzo, eliminan el error humano al momento de transcribir información.
- 20 - La entrega directa de información removiendo los tiempos de espera, mejora el flujo
- 21 - La provisión de un modelo de fondo y contexto para escanear códigos de barra y la visualización de datos del proceso en modelos de fondo permiten reportes precisos y rápidas respuestas para trabajar en los problemas de flujo.
- 25 - Las tres funciones sirven para reducir ciclos de tiempo durante la construcción esto mismo porque se traduce en optimización operacional con pocos problemas.
- 26 - Donde el estado del proceso es visualizado mediante un modelo BIM, tal como el sistema KanBIM, una serie de actividades consecutivas son requeridas para la construcción las cuales pueden ser realizadas una tras otra con pequeños retrasos entre ellas, estos son pequeños ciclos de tiempo para cualquier espacio o conjunto dado.
- 27 - La maquinaria controlada de forma directa por una computadora que es alimentada desde un modelo puede ayudar a reducir los ciclos de tiempo eliminando la entrada manual de datos o la producción manual acortando así el ciclo de tiempo, pero esto no garantiza tiempos más cortos si el tiempo ganado se gasta luego en esperas.

- 28 - La eliminación de etapas en el procesamiento de datos para ordenar o renovar entregas de material, eliminación del tiempo desperdiciado antes de ordenar, mejora los ciclos de tiempo.
- 29 - En este caso puede decirse que la funcionalidad aumenta el inventario de alternativas de diseño, esto puede ser considerado beneficioso en términos de hacerse amplias selecciones, atrasando así la selección de una sola alternativa hasta el último momento posible.
- 30 - La visualización y administración en línea de los procesos puede ayudar a implementar el diseño de estrategias de producción, puede ayudar a reducir el trabajo den los procesos de inventario y el tamaño de lote de producción.
- 32 - Para maquinaria controlada de forma numérica, los datos representan tiempo de preparación, la comunicación electrónica directa de los procesos desde un modelo, esencialmente elimina los tiempos de preparación, haciendo que se ejecute como un solo conjunto viable.
- 34 - Los procesos de comunicación y la comunicación en línea del estado del proceso son elementos clave al momento de permitir a los equipos de producción priorizar la locación de su secuencia de producción en términos de su contribución potencial, para garantizar un flujo continuo en la secuencia de trabajo con el fin de completar los espacios, implementando de esta forma un flujo de empuje, esto es básico para el enfoque que ofrece KanBIM, el cual se extiende hasta “the last planner system”.
- 35 - Donde los sistemas BIM están acompañadas de cadenas de suministro junto a bases de datos, proporciona un poderoso mecanismo para la comunicación de señales, para el

avance de la producción la entrega de materiales y la información de diseño del producto, esto también ayuda a que la cadena de suministro sea transparente.

- 38 - El acceso en línea a los estándares de producción, datos de los productos y los protocolos de la compañía ayudan a estandarizar prácticas de trabajo, haciéndolas totalmente disponibles y dentro del contexto para los equipos de trabajo frente a las labores, esto se basa en proveer de forma práctica el acceso a la información de forma práctica para los empleados.
- 39 - Cuando las interfaces BIM proveen de un contexto en el cual se puede dar un reporte en tiempo real del estado del proyecto, la medición del desempeño llega a asegurarse y se vuelve factible, la medición de desempeño dentro de un contexto en el cual el trabajo tienen estándares y documentación es primordial para la mejora de los procesos.
- 44 - La rápida generación de alternativas de planes de producción puede permitir que la selecciones entre estos se retrase, esto se puede considerar como la base y el enfoque para el diseño de los sistemas de producción y la planeación de la producción.
- 45 - El acceso en línea permite brindar la información de los diseños más actualizados para encarar las labores.
- 48 - Donde los administradores pueden ver el estado de los procesos en tiempo real, esto puede sustituir la necesidad de ver los procesos en el lugar, pero esto no puede sustituir el ver los procesos con los propios ojos.
- 50 - La integración de diferentes compañías, logísticas y otros sistemas de información hace que las relaciones de trabajo se extiendan más allá de los proyectos individuales.
- 53 - La generación automatizada de dibujos, especialmente planos de taller para la fabricación de aceros o prefabricados, como ejemplo, permite que la revisión y

producción se realice en bloques más pequeños porque la información se puede proporcionar mediante la demanda, a diferencia del ítem 52 este y el siguiente ítem son aspectos positivos de la producción automatizada de dibujos.

- 55 - Es posible preparar animaciones o secuencias de producción o instalación, estos guían a los trabajadores en cómo realizar trabajo en contextos específicos y son un medio excelente para garantizar que los estándares en los procesos están siendo seguidos, particularmente cuando la rotación de trabajadores es alta etapa por etapa, esto es común en la construcción.

5.2. Aplicaciones actuales de las sinergias

A continuación se presenta una revisión bibliográfica que se realizó respecto a Building Information Modeling y Lean construction, de esta revisión se seleccionaron 20 artículos los cuales se clasificaron en las etapas de control, diseño y factibilidad la clasificación por colores de la siguiente tabla (Ver Tabla 3) se pueden entender respecto a la información suministrada anteriormente (Ver Ilustración 1).

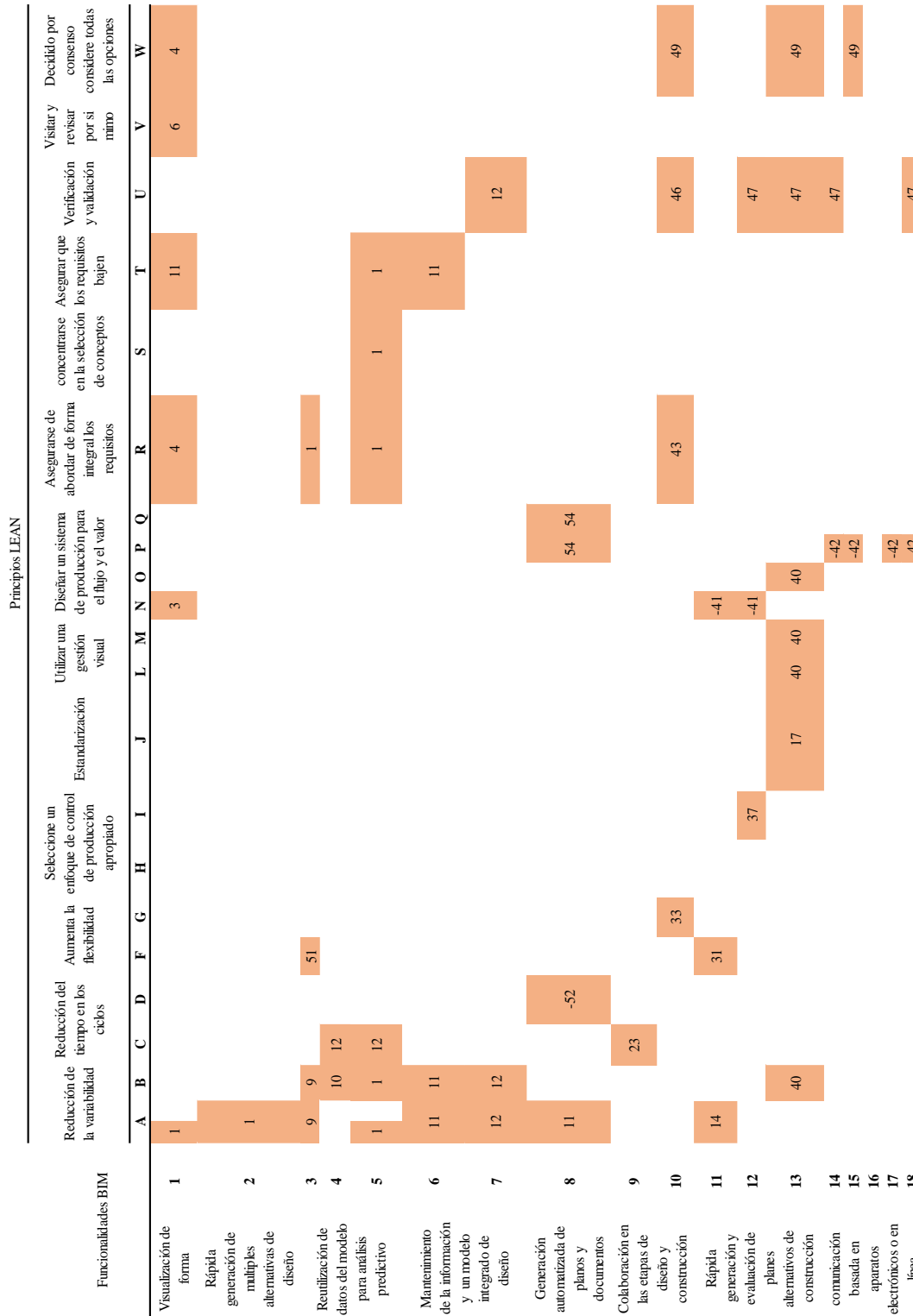


Ilustración 4. Matriz BIM-LEAN, Sinergias factibilidad

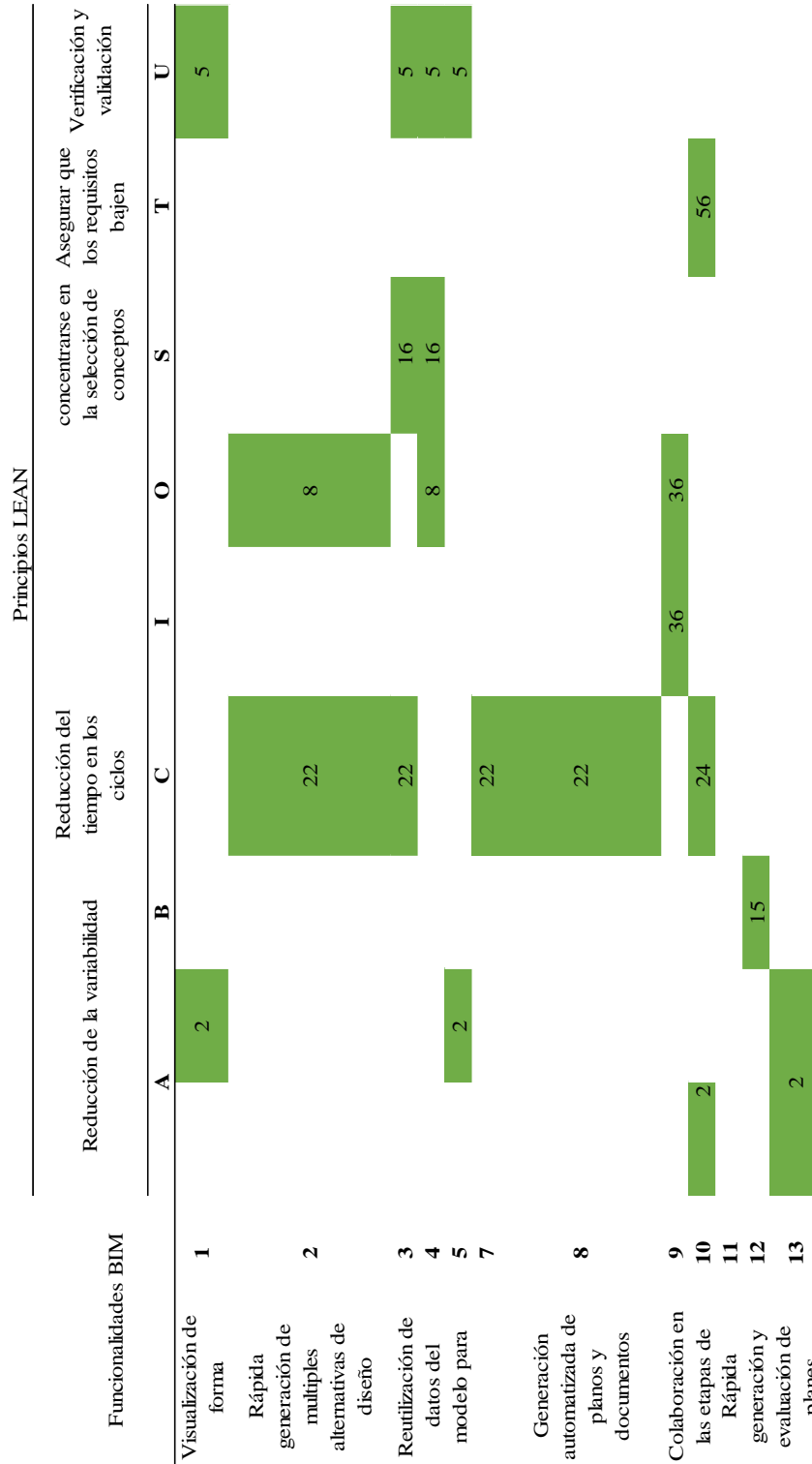


Ilustración 5. Matriz BIM – LEAN, sinergias diseño

Tabla 3.

Artículos BIM-LEAN clasificados en las etapas de factibilidad, diseño y control.

#	Titulo	Resumen
1	The effects of BIM and Lean construction in on design	Aplicación de Lean en tres diferentes proyectos ubicados en Finlandia
2	Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time	Aplicación de técnicas lean construction para la mejora en proyectos de construcción en un país en desarrollo (Egipto)
3	Building information modeling system and their applications in Turkey	Aplicación de BIM en ture y como ha ido evolucionando en el país además como BIM se ah echo presente y arraigado en diferentes países mayormente de Asia y Europa con una mención en sur américa (Brasil).
4	management of structural monitoring data of bridges using BIM	Monitoreo y control sobre los proyectos, la gestión y el procesamiento de datos con el fin de generar beneficios para, durante y con el proyecto.
5	Using BIM to improve the design and construction of bridges: a case study of a Long span Steel box arch bridge project	Aplicación de BIM en el diseño y construcción de mega puentes sujetos a grandes desafíos con ejemplos en algunas ciudades de China
6	BIM in bridge design	Aplicación de BIM en el diseño de un puente para mostrar los beneficios y desafíos que se pueden presentar en el proceso, además un paso a paso del diseño del puente en el software Revit.
7	Application of 3D bridge information modeling to design and construction of bridges	Aplicación de BIM para el diseño y construcción de puentes, ventajas y desventajas, desafíos que

se presentan en los proyecto actuales respecto a BIIM

8	Challenges for integrated design and delivery solutions	Viabilidad de los diseños integrados al momento de proponer soluciones para los diferentes obstáculos que se presentan durante los proyectos
9	Project cost estimation of national road in preliminary feasibility stage using BIM/GIS platform	viabilidad y estimación de proyectos viales mediante el uso de plataformas BIM / GIS
10	Research on Cost Control of Construction Project Based on the Theory of Lean Construction and BIM: Case Study	aplicación de Lean Construction y la intersección entre metodologías de la misma y la tecnología BIM y los costos
11	Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM–lean practice for design error management	Uso de redes de comunicación en la aplicación de BIM y lean para detectar errores de diseño
12	Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM–lean practice for design error management	Análisis de costos teniendo en cuenta la técnica de optimización se utiliza para seleccionar las alternativas óptimas de los sistemas de construcción teniendo en cuenta los aspectos de sostenibilidad.
13	Improving Construction Processes Using Lean Management	Evaluar los costos y los posibles ahorros al tiempo que se introduce la Metodología Lean en el gestión del área de almacenamiento.
14	Research on Cost Control of Construction Project Based on the Theory of Lean Construction and BIM Case Study	Ejemplo de aplicación de teoría lean y la tecnología BIM que se combinaron para trabajar conjuntamente en el control de costes del proyecto de construcción.
15	Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment	Minimización de residuos de construcción y demolición a través del diseño durante la vida útil de una edificación.

16	Building Information Modeling and Lean Construction_ Technology, Methodology and Advances From Practice	explora la relación entre BIM y Lean Construction, el valor de BIM en términos de mejora en el costo, cronograma, calidad y reducción de residuos del proyecto.
17	The Effects of BIM and Lean Construction on Design Management Practices	Prácticas actuales de gestión de diseño y los principales desafíos y problemas en los proyectos de diseño y definir métodos y herramientas de construcción lean adecuados y fáciles de usar para mejorar las prácticas de gestión de diseño a nivel operativo de los proyectos.
18	Effect of lean tools to control external environment risks of construction projects	Integración de herramientas lean en el ciclo del proyecto de construcción.
19	Implementation of lean practices in the construction industry A systematic review	Este artículo consiste en identificar y categorizar las diferentes prácticas lean implementadas en la industria de la construcción y los beneficios derivados de ellas
20	Information Management in the Application of BIM in Construction. The Roles and Functions of the Participants of the Construction Process	Aplicación de BIM analizando roles y funciones de los participantes en el proceso de construcción.

5.3. Recomendaciones

Según las sinergias presentes durante la etapa de control, se categorizaron en cinco ejes temáticos de los cuales se genera una recomendación por tema y son mostraran a continuación:

5.3.1 Primera recomendación: modelos 3D detallados, uso de software para modelación, información de modelos actualizada y disponible. Una de las características más importantes de las tecnologías BIM es permitir el almacenamiento de información de diferentes disciplinas mediante un modelo visual del proyecto (Kalfa, 2018), además, compartir la información y poder comunicarla de forma práctica a todos los interesados. Esto se puede lograr mediante el uso de una larga lista de software en la cual los más populares son REVIT, ARCHICAD Y BENTLEY, su mayor característica es crear componentes del proyecto los cuales sean o no geométricos cuentan con información funcional, semántica y topológica, esto significa que se puede realizar modelos 3D que cuenten con características estructurales, arquitectónicas, mecánicas, eléctricas y sanitarias. Aun así se debe entender que poder realizar un modelo como el que se ha venido mencionando requiere de conocimientos interdisciplinarios que incluyen la integración, almacenamiento e intercambio de datos de las diferentes disciplinas relacionadas al proyecto (Kalfa, 2018). Con el fin de fomentar el uso de modelos 3D como una herramienta para el control de proyectos se presenta la siguiente tabla: (Ver Tabla 4).

Tabla 4.

Características de implementación de modelos en los proyectos.

Beneficios	
* Consistencia	* Optimización de cronogramas y costos
* Reducción de la duración total del proyecto	* Prefabricación
* Detección de conflictos y mitigación de riesgos	* Implementación de Lean Construction
* Rápida creación de planos sin disminuir el costo y la calidad	* Planificación de la construcción y monitoreo
* Alto nivel de personalización y flexibilidad	* Reducción de errores y omisiones
* Fácil mantenimiento del ciclo de vida del proyecto	* Registro del modelo
	* Visualización de la realidad

* Coordinación y colaboración	* Visualización y simulación
Riesgos	
* Bajo nivel de colaboración	* Bajo nivel de interés del equipo
* Compatibilidad de las plataformas con los equipos	* Falta de apoyo por parte del experto BIM
* Falta de compromiso con las reuniones de trabajo	* No planear los procesos
Challenges	
* Desafíos técnicos	
* Desafíos de habilidad y entrenamiento	

5.3.2 Segunda recomendación: automatización de procesos y “Social Network”. Un error se define como “la desviación del valor real, ausencia de precisión y variación en las medidas debido a la falta de perfección humana o de las maquinas (Al Hattab & Hamzeh, 2015). Uno de los problemas más grandes en cualquier proyecto es el error humano y muchos estudios sugieren técnicas de prevención para individuos y grupos que se enfocan en el “cómo y porque” ocurren los errores, aun así estas técnicas no toman en cuenta la manera de relacionarse entre las partes interesadas y como estas relaciones influyen en la generación y difusión de errores (Al Hattab & Hamzeh, 2015). La realización de tareas tediosas, repetitivas o en las cuales se debe manejar gran cantidad de datos hace que se pueda llegar a cometer errores que, aunque se muestren pequeños en etapas posteriores pueden traducirse en grandes pérdidas económicas y de tiempo, debido a esto la automatización de este tipo de tareas como lo son la generación de planos mediante el uso de los modelos 3D , Configurado de acero mediante el uso de programaciones y bases de datos computacionales (Dave et al., 2016), manejo de grandes cantidades de datos numéricos convirtiéndolos en bases de datos numéricas entre otros puede ser un gran apoyo para cualquier proyecto, ya que esto garantiza evitar el error humano tanto como sea posible, lo cual a su vez

termina nuevamente traduciéndose en tiempo y dinero. Para ello se propone del uso de los siguientes softwares REVIT, ARCHICAD, BENTLEY, EXCEL (Kalfa, 2018).

5.3.3 Tercera recomendación: optimización de flujo de entregables, desglose de entregables en pequeñas tareas, estandarización de tareas. Todo proyecto se compone de conjuntos de tareas que al sumarse dan como resultado un producto entregable, la culminación de estas tareas de forma precisa y a tiempo es indispensable para el buen flujo y evolución del proyecto, por ello una de las técnicas más utilizadas y recomendadas es la WBS (Work Breakdown Structure) que se define como “una descomposición jerárquica orientada a la entrega del trabajo a ser ejecutado por el equipo del proyecto para lograr los objetivos del proyecto y crear los entregables requeridos” (Taylor, 2009) resaltando su característica jerárquica. Si las tareas inferiores que comprenden el 100% de una tarea superior “entregable” no se realizan de forma adecuada y a tiempo esto incurrirá en atrasos del proyecto en general es por ello que “Una WBS bien diseñada describe los resultados planificados en lugar de las acciones planificadas” (Taylor, 2009), se ha demostrado en diferentes estudios como el uso de este sistema llega a ser de gran utilidad y presenta los siguientes beneficios (Ver Tabla 5). Es importante tener en cuenta que la excelencia en cualquier tarea que se deba realizar radica en la estandarización de la misma ya que de esta forma los encargados de culminar dicha tarea en su mayoría los trabajadores tendrán suficiente información de los materiales o recursos necesario, como utilizarlos y que resultados se esperan permitiendo así que cualquier acción sea controlada previamente (Taylor, 2009) lo que se podría considerar como un diccionario de la WBS donde se pueda encontrar la información pertinente para cada tarea a realizar.

Tabla 5.

Beneficios de la WBS.

Beneficios
* Programación optimizada del proyecto
* ejecución efectiva del proyecto
* visión de la gestión del proyecto
* mejora en la comunicación
* responsabilidad

Ademas de los beneficios en la tabla se presenta uno más que son los “paquetes de trabajo” en los cuales se especifica de forma clara todas las instrucciones para realizar las actividades encomendadas para ser llevadas a cabo de forma óptima. (Skyline Group 2019).

5.3.4 Cuarta recomendación: Monitoreo del proyecto, medición de desempeño, documentación del mismo. El monitoreo de cualquier proyecto se debe realizar de forma constante durante cada etapa del mismo y este debe empezar con la recolección de datos, es importante tener en cuenta que estos datos por si solos no tienen ningún valor, deben ser procesados y ubicados en un contexto geométrico dentro de del proyecto, que pueda facilitar la interpretación y análisis de los mismos (Davila, 2016). Los datos recolectados mediante los monitores pueden ser de utilidad para proponer estrategias que permitan reducir los costos de operación y mantenimiento, mejorar la calidad, verificar soluciones estructurales que se proponen y además para lograr desarrollar modelos más eficientes para futuros proyectos (Davila, 2016), para ello es importante definir algunos aspectos importantes como lo son el manejo de las bases de datos, los encargados del manejo de los datos, la frecuencia de dichos monitoreos y actualizaciones en los bancos de datos, el uso de software, la compatibilidad con los equipos y como se mencionó anteriormente proporcionar un contexto a los datos (Sacks et al., 2010), si se

cuenta con esto es posible garantizar a las partes interesadas del proyecto poder conocer el estado de la obra en tiempo real o poder utilizar la información en otros proyectos. Respecto al costo que incurre estas tareas es justificable si se tiene en cuenta que fallas y desperfectos inesperados durante el proyecto representan en la mayoría de casos grandes pérdidas (Davila, 2016).

6. Conclusiones

- A partir del artículo “Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction”, se logró categorizar las sinergias presentes en las siguientes etapas: factibilidad, diseño y control. Además con el estado del arte presentado en el artículo se puede resaltar que es posible encontrar una investigación más extensa en las etapas de factibilidad y control mientras que en la etapa de diseño es poca en comparación a las dos anteriores y como la investigación respecto a la etapa de control esta más enfocada a la automatización y estandarización de procesos.
- El uso de software y crear modelos 3d detallados, permite implementar la filosofía Lean construction, optimizando costos, presupuesto y tiempo de ejecución del proyecto, controlando errores humanos con la automatización, y mejorando la detección de conflictos en etapas tempranas para la mitigación de riesgos.
- Utilizar una Work Breakdown Structure (WBS) permite controlar de manera efectiva el proyecto, desglosando las actividades en paquetes de entregables obteniendo beneficios como lo son: una ejecución efectiva del proyecto, mejora en la comunicación, visión de la gestión del proyecto, mayor facilidad de control de actividades, además, realizar un

monitoreo del proyecto a partir de la documentación del mismo, permite generar estrategias para optimizar y controlar costos de operación y mantenimiento, la calidad, verificar soluciones estructurales que se proponen y además para lograr desarrollar modelos más eficientes para futuros proyectos.

- En países desarrollados el uso de estas metodologías, filosofías y tecnologías que se han mencionado en el artículo es común y se encuentra en una constante mejora, mientras en países sub desarrollados como es el caso de los países latinoamericanos la aplicación de estos se basa en lo que otros países ya han hecho con anterioridad y es poco común debido a la falta de expertos en el tema, además, no se cuenta con herramientas suficientemente potentes y al no tener documentación o registros de aplicación en proyectos anteriores muchas firmas, entidades y profesionales optan por evitar profundizar mucho en el tema debido a la falta de conocimiento, lo que se quiere dar a entender es que aunque BIM y LEAN sean de gran utilidad vienen con requisitos que deben cumplirse el objetivo es lograr la optimización de proyectos como son, las herramientas necesarias, los expertos necesarios y la experiencia en estos temas.

Referencias

- Abbasian-Hosseini, S. A., Nikakhtar, A., & Ghoddousi, P. (2014). Verification of lean construction benefits through simulation modeling: A case study of bricklaying process. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *18*(5), 1248–1260. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0305-9>
- Al Hattab, M., & Hamzeh, F. (2015). Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM-lean practice for design error management. *Automation in Construction*, *52*, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.014>
- Dave, B., Kubler, S., Främling, K., & Koskela, L. (2016). Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. *Automation in Construction*, *61*, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.009>
- Davila, M. (2016). *Management of structural monitoring data of bridges using BIM Management of structural monitoring data of bridges using BIM*. (November). <https://doi.org/10.17863/CAM.6377>
- Hergunsel, M. F. (2011). Benefits of Building Information Modeling and Bim based scheduling. *Design*, (May), 1136–1145. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Herr, C. M., & Fischer, T. (2019). BIM adoption across the Chinese AEC industries: An extended BIM adoption model. *Journal of Computational Design and Engineering*, *6*(2), 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.06.001>

- Issa, U. H. (2013). Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 697–704. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.07.003>
- Kalfa, S. M. (2018). Building information modeling (BIM) systems and their applications in Turkey. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 1(1), 55–66. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2018.01055066>
- Kaswan, M. S., & Rathi, R. (2019). Analysis and modeling the enablers of Green Lean Six Sigma implementation using Interpretive Structural Modeling. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1182–1191. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.253>
- Matějka, P., & Tomek, A. (2017). Ontology of BIM in a Construction Project Life Cycle. *Procedia Engineering*, 196(June), 1080–1087. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.065>
- Miettinen, R., & Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 43, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>
- Nowotarski, P., Pasławski, J., & Matyja, J. (2016). Improving Construction Processes Using Lean Management Methodologies - Cost Case Study. *Procedia Engineering*, 161, 1037–1042. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.845>
- Oraee, M., Hosseini, M. R., Papadonikolaki, E., Palliyaguru, R., & Arashpour, M. (2017). Collaboration in BIM-based construction networks: A bibliometric-qualitative literature review. *International Journal of Project Management*, 35(7), 1288–1301. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.07.001>

Pic, E. C. (2008). *Introducción a la tecnología bim*.

Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. *Avances Investigación En Ingeniería*, 11(1), 32. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.298>

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)

Smith, P. (2014). BIM implementation - Global strategies. *Procedia Engineering*, 85, 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>

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>

Taylor, M. D. (2009). *How to Develop Work Breakdown Structures*. p.1-10.

Tenera, A., & Pinto, L. C. (2014). A Lean Six Sigma (LSS) Project Management Improvement Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 912–920. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.102>

Skyline Group (2019) Skylinegroupblog, Recuperado de: <https://skylinegroupblog.blogspot.com>