

Integration of Lean-BIM Methodologies in Construction Projects: A Systematic Review

Efrain E. Limaylla-Santiago 

Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Peru, C24946@utp.edu.pe

Abstract— *In recent years, the construction industry has adopted in its processes methodologies such as Lean Construction (Lean) and Building Information Modelling (BIM) with the aim of improving efficiency and productivity aspects. Many studies have been conducted to investigate the benefits of integrated application. Therefore, this Systematic Literature Review aims to determine the effects of integrating Lean methodologies with BIM on the efficiency of construction projects and to provide detailed information on results. Because these approaches have coincidental ideas, it is believed that various benefits can be obtained if used jointly. For this purpose, 463 original studies from the Scopus and Web of Science databases were identified, 35 of which met the selection criteria. The results indicated that in the integration Lean and BIM improves the efficiency of construction projects by increasing labor productivity, reducing the cost of the total budget and reducing delivery times, mainly in the design and execution phases. Finally, it is concluded that, Lean and BIM integration generally produce synergies. However, few studies have investigated model designs, prototypes and software.*

Keywords— *lean construction, building information modelling, integration, BIM*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Integración de las Metodologías Lean-BIM en los Proyectos de Construcción: Una Revisión Sistemática

Efrain E. Limaylla-Santiago 

Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Peru, C24946@utp.edu.pe

Resumen—En los últimos años, la industria de la construcción ha adoptado en sus procesos metodologías como *Lean Construction* (*Lean*) y *Building Information Modelling* (*BIM*) con la finalidad de mejorar aspectos de eficiencia y productividad. Muchos estudios se han realizado para investigar los beneficios de la aplicación en forma integrada. Por ello, la presente Revisión Sistemática de Literatura tiene como objetivo determinar los efectos de la integración de las metodologías *Lean* con *BIM* sobre la eficiencia de los proyectos de construcción y brindar información detallada sobre los resultados. Debido a que estos enfoques tienen ideas coincidentes, se cree que se pueden obtener diversos beneficios si se utilizan de manera conjunta. Para ello, se identificó 463 estudios originales de las bases de datos *Scopus* y *Web of Science*, de los cuales 35 estudios cumplieron con los criterios de selección. Los resultados indicaron que en la integración *Lean* y *BIM* mejora la eficiencia de los proyectos de construcción al incrementar la productividad laboral, reducir el costo del presupuesto total y reducir los plazos de entrega; principalmente en las fases de diseño y ejecución. Finalmente, se concluye que, la integración *Lean* y *BIM* generalmente producen sinergias. Sin embargo, pocos estudios han investigado diseños de modelos, prototipos y software.

Palabras clave—lean construction, building information modelling, integration. *BIM*

I. INTRODUCCIÓN

Este estudio analiza las tendencias más crecientes en la industria AEC (arquitectura, ingeniería y construcción). Las metodologías de Modelado de Información de Construcción (*BIM*, por sus siglas en inglés) y construcción sin pérdidas (*Lean*) son los enfoques más distintivos y que se están extendiendo más rápidamente en el ámbito profesional y de la investigación [1]. Aunque los dos son conceptualmente distintos, su integración presenta desafíos y oportunidades en el proceso de implementación [2]. Para comenzar, se definen los dos conceptos para el propósito particular de esta revisión (esto no debe interpretarse como un esfuerzo por ofrecer definiciones oficiales, sino simplemente para establecer el contexto adecuado para la discusión posterior). El concepto *Lean* está asociada a los componentes de producto, organización y proceso [2], [3]. *Lean Construction* es una filosofía de gestión de la producción adaptado a la industria de la construcción,

derivado del Sistema de Producción Toyota [4], [5], su enfoque mejora la productividad de la construcción al reducir el desperdicio de materiales, tiempo y esfuerzo, eliminando actividades que no añaden valor y encontrando formas de mejorar continuamente los procesos [6]–[31]. Por otro lado, la metodología *BIM* representa digitalmente las características físicas y funcionales de un proyecto, permite mejorar la eficiencia de la construcción al compartir y gestionar la información del modelo en todas las fases del proyecto. Además, permite la integración con nuevas tecnologías [3]–[6], [8]–[11], [13], [15], [17], [18], [20]–[23], [25]–[27], [30], [32]–[34]. En la etapa de diseño y construcción, permite verificar, disminuir y eliminar los conflictos [2], [7], [12], [35]. Así mismo, la visualización del modelo facilita la colaboración entre todos los agentes implicados [14], [16], [19], [24], [28], [29], [31], [36].

El problema radica en que las metodologías *Lean* y *BIM* se están utilizando principalmente de forma independiente en el sector de la construcción, y lamentablemente solo proporcionan beneficios parciales cuando se aplican por separado [4], [37]. Esto se debe principalmente a las barreras de su implementación conjunta, que incluyen una fuerte resistencia cultural, falta de comprensión del método *Lean-BIM* y falta de apoyo del personal superior [25]. Además, los equipos expertos en *Lean* y *BIM* desconocen sobre las ventajas de la implementación conjunta, por esta razón, no creen que vale la pena priorizar y dedicarle tiempo a ello [23]. Por tal motivo, actualmente, a muchas empresas todavía les resulta difícil implementar el marco de integración *Lean* y *BIM* [1]. Sin embargo, los estudios sugieren que *Lean* y *BIM* son complementarios, se relacionan mutuamente y pueden traer muchos más beneficios [1], [4], [28], [37]. Por ello, es importante conocer en la literatura, el modo en que, estas metodologías se están integrando con el propósito de incrementar la eficiencia de los proyectos. A esto, se agrega el hecho de que no existen revisiones previas sobre dicha integración enfocada a la eficiencia en los proyectos. En ese sentido, el objetivo principal de esta revisión es determinar los efectos de la integración de las metodologías *Lean* con *BIM* sobre la eficiencia de los proyectos de construcción y brindar información detallada sobre los resultados.

Finalmente, la presente revisión está estructurada de la siguiente manera: La sección II explica la metodología para

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

seleccionar la literatura relevante en este estudio. La Sección III muestra los resultados de la Integración Lean con BIM y analiza en detalle cómo mejorar la eficiencia en los proyectos de construcción. La Sección IV proporciona una discusión final sobre los hallazgos de integración Lean y BIM. Luego, en la sección V se exponen las conclusiones.

II. METODOLOGÍA

A. Estrategia de Búsqueda

Para realizar la presente Revisión Sistemática de Literatura (RSL) se utilizó el método PICO (Población, Intervención, Comparación y Resultados) con el propósito de guiar la selección de artículos y desarrollar las preguntas de investigación. Asimismo, Se eligió una variedad de palabras clave para el caso de investigación. La Tabla I contiene las palabras clave especializadas de cada componente PICO.

A continuación, se presenta la pregunta de revisión que guiará la siguiente RSL.

1) Pregunta PICO:

- ¿Cómo la metodología Lean se integra con BIM para mejorar la eficiencia de los proyectos de construcción?

2) Preguntas de Revisión (PR's) asociadas a los componentes PICO:

- PR1: ¿Cuál es la eficiencia de los proyectos de construcción?
- PR2: ¿En qué tipos de proyectos de construcción se ha investigado?
- PR3: ¿Cómo se implementó la metodología Lean en los proyectos?
- PR4: ¿Cuáles han sido los resultados de la integración con la metodología BIM?

TABLA I
COMPONENTES PICO Y PALABRAS CLAVE

Population (P)	Proyectos de construcción	"construction projects", "construction industry", "project", "building", "construction", "infrastructure", "edification", "Infrastructure construction"
Intervention (I)	Building Information Modelling	"building information management", "bim", "building information modelling", "virtual design construction"
Comparison (C)	Lean Construction	"lean construction management", "lean", "lps", "last planner system", "last planner", "lean construction"
Outcomes (O)	Mejorar la eficiencia del proyecto	"improve performance", "improve", "improvement", "improving", "enhance", "enhancing", "performance evaluation", "performance measurement", "performance indicator", "performance optimization", "performance análisis", "performance index", "measure performance", "efficiency", "productivity"

En total, se realizaron búsquedas en dos bases de datos para seleccionar los estudios. Se eligieron las siguientes bases

de datos electrónicas debido a su alta relevancia para el campo de investigación en cuestión: Scopus y Web of Science. Para encontrar estudios complementarios relevantes, también se revisaron las referencias de los resultados de búsqueda obtenidos. La Tabla II contiene las ecuaciones de búsqueda usadas en ambas bases de datos.

TABLA II
SINTAXIS DE LAS PALABRAS CLAVE EN BASES DE DATOS SELECCIONADAS

Ecuación en Scopus	Ecuación en Web of Science
(TITLE-ABS-KEY ("construction projects" OR "construction industry" OR project OR building OR construction OR infrastructure OR edification OR "Infrastructure construction") AND TITLE-ABS-KEY ("building information management" OR bim OR "building information modelling" OR "virtual design construction") AND TITLE-ABS-KEY ("lean construction management" OR lean OR lps OR "last planner system" OR "last planner" OR "lean construction") AND TITLE-ABS-KEY ("improve performance" OR improve OR improvement OR improving OR enhance OR enhancing OR "performance evaluation" OR "performance measurement" OR "performance indicator" OR "performance optimization" OR "performance análisis" OR "performance index" OR "measure performance" OR efficiency OR productivity)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	"construction projects" OR "construction industry" OR project OR building OR construction OR infrastructure OR edification OR "Infrastructure construction" (All Fields) AND "building information management" OR bim OR "building information modelling" OR "virtual design construction" (All Fields) AND "lean construction management" OR lean OR lps OR "last planner system" OR "last planner" OR "lean construction" (All Fields) AND "improve performance" OR improve OR improvement OR improving OR enhance OR enhancing OR "performance evaluation" OR "performance measurement" OR "performance indicator" OR "performance optimization" OR "performance análisis" OR "performance index" OR "measure performance" OR efficiency OR productivity (All Fields)

B. Selección y análisis

El proceso de selección de literatura se basó bajo el enfoque de la metodología de elementos de Informe Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA) [38], la cual se aplicó después de la búsqueda bibliográfica como se muestra en la figura 1.

Este proceso se basa en seleccionar documentos que cumplan con los criterios de selección presentados a continuación.

1) Criterios de inclusión:

- CII: Los estudios deben contener la metodología BIM.
- CI2: Los estudios deben incluir la integración de la metodología BIM con Lean.
- CI3: Los estudios deben contener resultados de la eficiencia de los proyectos de construcción.

2) Criterios de exclusión:

- CE1: Estudios que consideren proyectos diferentes al de construcción.
- CE2: Estudios que consideren diferente metodología a Lean.
- CE3: Estudios escritos en idiomas diferentes al inglés y español.

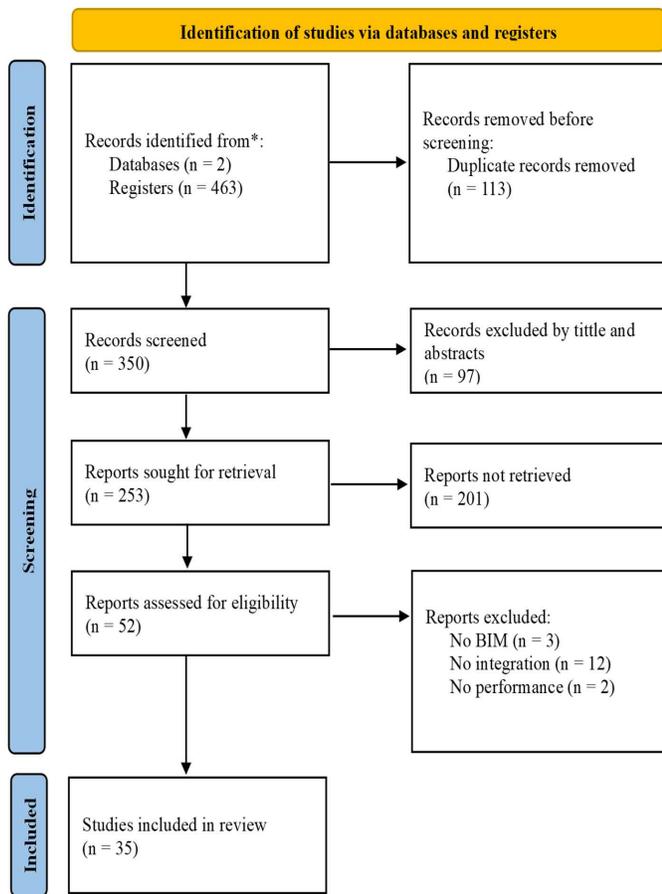


Fig. 1: Diagrama de flujo PRISMA

Al revisar la información de los artículos, se encontró que 113 documentos estaban duplicados, lo que generó un número de 350 registros únicos. A continuación, todos los registros fueron sometidos a una cuidadosa evaluación títulos y resúmenes para evaluar si su contenido estaba realmente relacionado con el objetivo del presente estudio. Al leer cada documento en su totalidad, se confirma una primera impresión sobre sus contribuciones. El proceso de filtrado condujo al descarte de 97 registros y luego se verificó 253 registros para determinar si eran relevantes para la pregunta de investigación. Sin embargo, 201 documentos fueron excluidos porque no estaban disponibles en línea. Por lo tanto, se obtuvo un número de 52 registros evaluados. Finalmente, todos los registros fueron filtrados por los criterios de inclusión y exclusión. Este paso generó el descarte de 17 registros, quedando 35 documentos para ser sometidos a análisis bibliométrico y leídos íntegramente para análisis de contenido.

III. RESULTADOS

La presente revisión se centra en un análisis de contenido sobre la integración de Lean con BIM. Sólo se incluyeron investigaciones basadas en la integración de ambas metodologías, publicadas en revistas científicas y en congresos internacionales. No se incluyeron investigaciones enfocados en Lean y BIM de forma separada.

A. Resultados sobre la eficiencia en los proyectos

Los resultados varían de un estudio a otro. Sin embargo, los resultados de estudios de casos más exitosos en los que se integraron Lean y BIM se resumen en la Tabla III. Los hallazgos para la PR1 muestran que la eficiencia se ha demostrado más en términos de costo y cronograma.

TABLA III
RESULTADOS MÁS EXITOSOS EN LA EFICIENCIA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Eficiencia	Proyecto	Fase	Resultados
Costo	Aeroportuario	Diseño y Ejecución	Ahorro del 10% del precio total del contrato [26].
Cronograma	Edificación	Diseño	Ahorro del 16% del plazo total del contrato [4].
Costo y cronograma	Edificación	Diseño y ejecución	Ahorro del 11% del precio total y 25% del plazo total del contrato [24].

También durante la fase de diseño se mejoró en términos de eficiencia del cronograma. Específicamente, en la Ref. [4] el cronograma se redujo, lo que llevó al gerente de diseño senior a abandonar el proyecto seis meses antes de lo previsto. Del mismo modo, en términos de eficiencia operativa, la métrica PPC se mantuvo alrededor del 80% durante todo el proyecto [10], además, se redujo el tiempo de elaboración de proyectos de edificación en 40%, reduciendo el número de horas dedicadas a las modificaciones y cambios durante el proceso en un 65% [14], asimismo, se pudo calcular aproximadamente el 70% de las cantidades que se realizan en obra [15].

En modo similar durante la fase de diseño y ejecución se mejoró en términos de eficiencia operativa. Particularmente, en la Ref. [33] se logró una reducción del 75% en trabajos en altura y del 60% en defectos, además, la cantidad de órdenes de cambio y RFI disminuyó [24]. Análogamente, en términos de eficiencia del costo y cronograma, se consigue ahorrar dinero en materiales, mano de obra y tiempo en problemas de diseño, los cuales influyen directamente sobre el presupuesto total y plazo de entrega [2], [17], [24], [26], [33], [35].

Del mismo modo durante la fase de ejecución se mejoró en términos de eficiencia del cronograma y costo, el trabajo terminó un mes antes de lo previsto [20], ahorro del presupuesto total del proyecto [31].

B. Resultados sobre los tipos de proyectos de construcción

Como se muestra en la figura 2, los hallazgos para la PR2 muestran que, en comparación con el resto de las fases del proyecto, el tema se centra en la fase de diseño y construcción. Además, en la figura 3, los resultados mostraron que la mayoría de los estudios de casos son aplicados a proyectos de edificación.

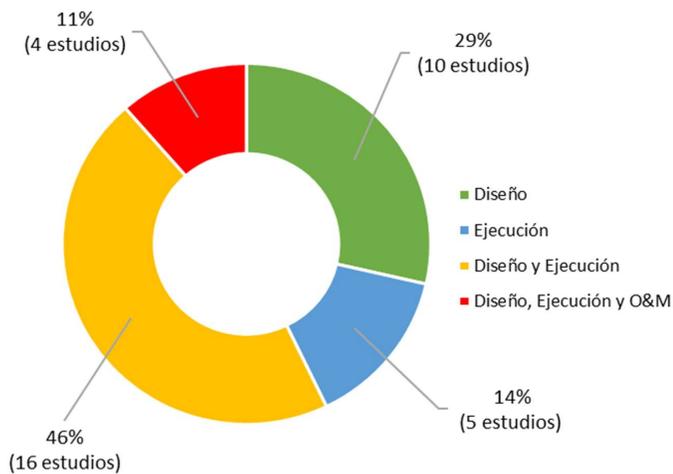


Fig. 2: Fases del proyecto de construcción en la que se desarrollaron las investigaciones.

Lean y BIM son metodologías que han evolucionado de forma independiente, la adaptabilidad de BIM hace posible su integración con Lean para formar una mejor herramienta. Sobre la sinergia mutua de BIM-Lean está escrito en la Ref. [11] donde se muestra la relevancia de su integración a lo largo de las fases del proyecto de construcción: diseño, ejecución y operación & mantenimiento (O&M). También, se estableció la relación entre los beneficios Lean y las diferentes capacidades BIM.

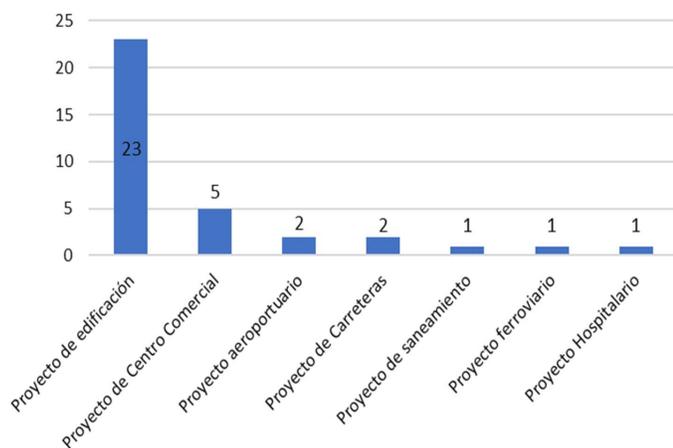


Fig. 3: Tipo de proyecto de construcción analizados en los estudios de casos.

C. Resultados sobre la implementación de Lean con BIM

Los hallazgos para la PR3 muestran que la Ref. [6] ha estudiado las sinergias de Lean y BIM. En esta investigación se utilizaron 24 principios Lean y 18 funcionalidades BIM y se encontraron 56 interacciones entre ellos. De estas interacciones, 52 fueron positivas. Los autores destacaron que los principios Lean que tienen la mayor concentración de interacciones son: reducir la variabilidad del producto, reducir la variabilidad de la producción y reducir la duración del

ciclo de producción. En consecuencia, la integración de ambas disciplinas en esta etapa mejora la gestión del diseño [4], [8], [10], al mismo tiempo, reducir los retrabajos y los conflictos, mejorar la comunicación y la coordinación entre los equipos [12], [13].

También sobre gestión de errores de diseño, la Ref. [8] estudió cómo la integración de las funcionalidades BIM con los principios Lean en la etapa de diseño puede contribuir a la reducción de los problemas de diseño de construcción asociados con los problemas de gestión de la información. Los autores destacaron algunos desafíos clave dentro del diseño de la construcción, como la falta de comunicación y coordinación, información de entrada deficiente o incompleta, cambios de diseño y toma de decisiones poco confiable.

Otros autores extienden la sinergia a otras etapas del ciclo de vida del proyecto, como la fase de ejecución. En particular en la Ref. [7] Lean se presenta como un facilitador BIM que fomenta la colaboración mediante herramientas Lean como big room, knotworking, target value design y last planner, para superar las barreras en las relaciones humanas, como responsabilidades poco claras, instrucciones insuficientes y falta de comunicación que impiden la implementación adecuada de BIM. Además, los beneficios de BIM en términos de visualización como software de modelado 3D son ampliamente conocidos. Sin embargo, no solo permitirá la visualización en la fase de diseño, sino que también permitirá que los principios Lean se utilicen en la fase de ejecución para lograr una mejor eficiencia del proyecto al aumentar la productividad, reducir los costos y el tiempo de entrega del proyecto [2].

Además, si vemos más allá de las revisiones de la literatura teórica sobre Lean y BIM, observamos que existe bajo porcentaje de trabajos de estudios de casos en la fase de ejecución, por lo que apenas hay investigaciones en revistas indexadas o artículos en congresos que integren estos enfoques a través de estudios de casos.

Dentro de la literatura disponible actualmente, en la Ref. [35] la alineación BIM y Lean se estudia a través de su aplicación en un estudio de caso, proyecto de edificio de oficinas, pero solo se enfoca en la gestión de obras del MEP como instalaciones sanitarias, eléctricas y HVAC. También en la Ref. [24] se rediseñó el proyecto de la Facultad de Ciencias Administrativas e Informática de la Universidad de Dammam en Arabia Saudita, porque no se utilizó herramientas de gestión BIM ni técnicas lean, pero la integración solo se realizó en los trabajos de diseño.

Finalmente. En la Ref. [17] Las herramientas Lean y BIM como el sistema Last Planner se estudia a través de su aplicación en un estudio de caso en la fase de ejecución de una ampliación del Edificio Polivalente III de la Universidad de Alicante, los principales resultados fueron verificar de manera práctica los beneficios teóricos de la literatura como una mejor comunicación, flujo de información, determinación más fácil de mejoras en las soluciones constructivas y una toma de decisiones más efectiva sin improvisación. Asimismo, en la Ref. [26] el Gran Aeropuerto de Estambul se construyó utilizando un enfoque completo de Lean y BIM, lo que permitió una

gestión exitosa tanto en la fase de diseño como en la fase de ejecución. También en la Ref. [20] se logra la integración de conceptos BIM y Last Planner System como herramienta Lean, en un estudio de caso, se llegó a la conclusión que obtener la colaboración y el compromiso de todos los actores involucrados en el proyecto es lo más importante. Asimismo, en la Ref. [31] donde se realizó estudio de caso de proyecto de edificación, planteó método de modelado que promete reducir el desperdicio y aumentar la eficiencia en la construcción, fortaleciendo las prácticas Lean dentro del marco BIM.

Se encontró solo un artículo de uso de software. En la Ref. [33] se estudian las sinergias Lean y BIM a través de un estudio de caso de proyecto de centro comercial, se usó el software VisiLean para el seguimiento y planificación de la producción basado en la integración Lean y BIM. Pero a pesar de que fue desarrollado en la fase de construcción solo se enfoca en un proceso altamente modular y externo de centro de datos.

D. Resultados de la integración con BIM

Como se muestra en la figura 4, los hallazgos para la PR4 muestran que la mayoría de las investigaciones tienen como tipo de resultado sinergias entre Lean y BIM. Mientras que, el desarrollo de diseño de modelos teóricos, prototipos y uso de software fueron en menor porcentaje.

Las sinergias se dieron principalmente a partir de interacciones entre los principios Lean y las funcionalidades BIM [5], [6], [8], [15], [19], [26], [28], [30], además de la utilización de herramientas Lean y capacidades BIM [2], [4], [11], [17], [20], [22], [27], [29], [32], [34], [36].

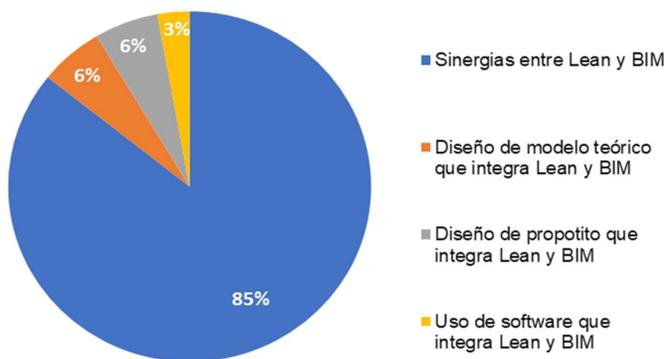


Fig. 4: Tipo de resultados después de la integración Lean-BIM.

E. Análisis bibliométrico y hallazgos

Los hallazgos del análisis bibliométrico se muestran de la siguiente manera: En la figura 5, se encontró que, a pesar de que la mayoría de las personas utilizan las revistas como medios para difundir sus investigaciones, las contribuciones a congresos internacionales específicos representan una mayor proporción.

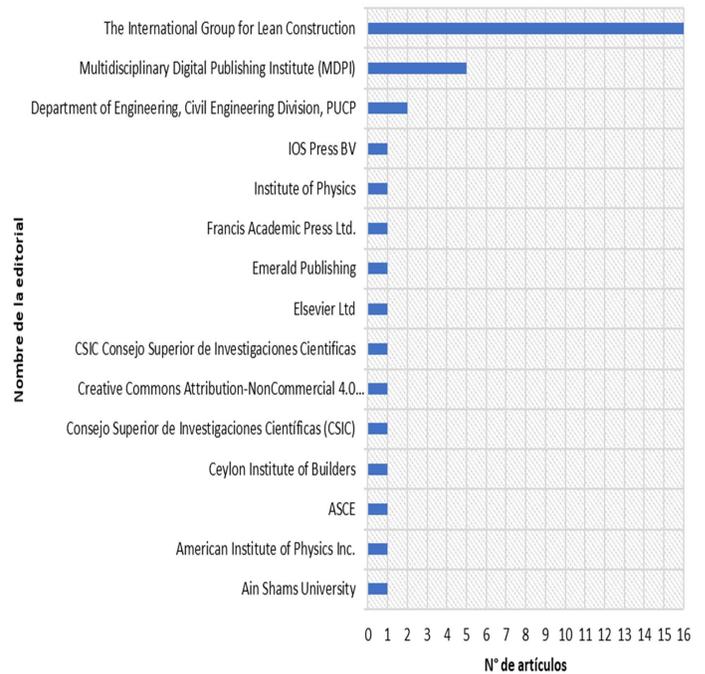


Fig. 5: Número de artículos por editorial y congreso.

Además, en la figura 6, se detectó que el tipo de estudio con mayor número de investigaciones fue de estudio de caso [2], [4], [5], [7], [10]–[12], [14]–[18], [20], [23]–[26], [31], [33]–[35], seguido por el conceptual [3], [6], [9], [13], [19], [21], [27], [28], [30], [31], [36], estudio con entrevista [2], [5], [10]–[12], [14], [19], [23], [25], estudio con encuesta [4], [20], [29] y diseño [22], [32].

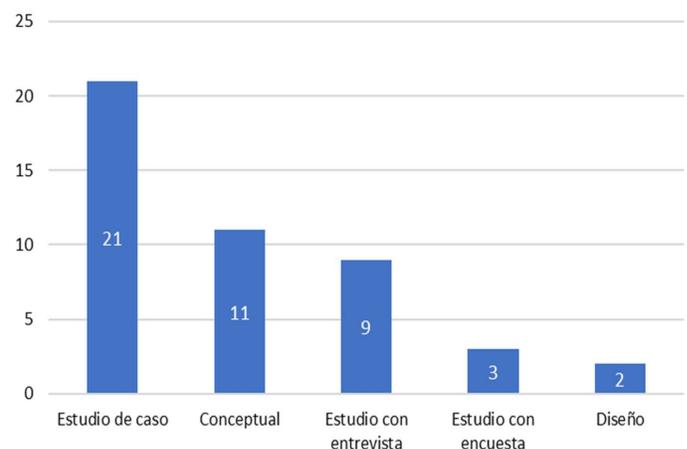


Fig. 6: Tipo de estudio en los artículos revisados

Finalmente, antes de 2017, casi no había publicaciones sobre la integración de Lean y BIM en proyectos de construcción, figuras 7 y 8. En 2018 y 2019 se registró un máximo de 6 contribuciones de investigación, desde entonces, cada año se han publicado alrededor de 5 artículos en todo el mundo.

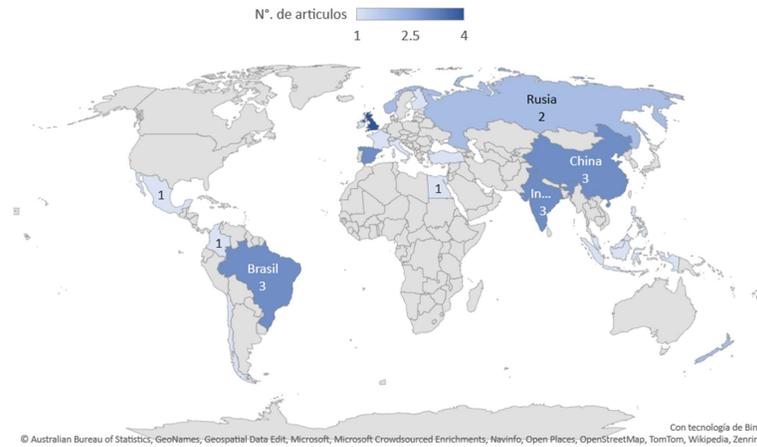


Fig. 7: Distribución del número de publicaciones que abordan la integración Lean-BIM por país

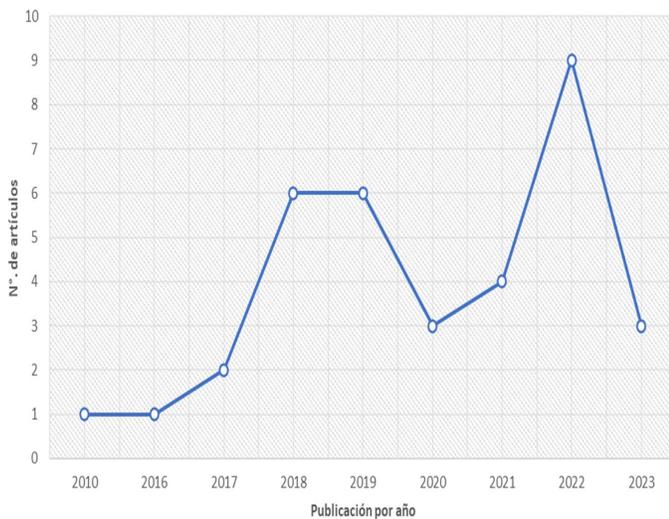


Fig. 8: Resumen de artículos por año

IV. DISCUSIÓN

Según muestran los resultados, se mejoró la eficiencia en los proyectos de construcción en términos operativos (incremento de productividad laboral y cumplimiento de planes de trabajo), eficiencia del costo (reducción del costo y cumplimiento del presupuesto) y eficiencia del cronograma (reducción de los plazos de entrega). Así como, en la Ref. [24] el estudio de caso de la Facultad de Ciencias Administrativas e Informática de la Universidad de Dammam, Arabia Saudita, la integración de Lean y BIM logró reducir el costo en más del 10% del presupuesto total y terminar el proyecto ahorrando un 25% del plazo total, esto se debe a que se redujo el tiempo de diseño a casi la mitad y eliminó el tiempo de espera innecesario durante los procesos de construcción; no obstante, los resultados se lograron después de que terminó el proyecto, es decir, los autores optaron por seleccionar un proyecto que no empleó herramientas BIM o Lean Management.

A continuación, en la Ref. [26] el estudio de caso del proyecto Aeropuerto Grant de Estambul, Lean y BIM logró

reducir el costo en 10% del presupuesto total para la fase 1 del proyecto, se consiguió gracias a la combinación de las disciplinas MEP, arquitectónica y estructural para detectar y resolver interferencias, también, la visualización fue clave para mejorar la comprensión del diseño y la construcción, además, el megaproyecto complejo requirió una secuenciación y planificación precisas del trabajo futuro. Por lo tanto, los hallazgos indican que la integración Lean y BIM fue exitosa en cuanto a los resultados relacionados con la mejora de la eficiencia en términos de costo para la PR1.

En lo que respecta a la PR2, la revisión muestra que el 65% de las investigaciones se aplicaron a estudios de casos sobre proyectos de tipo edificaciones, el 14% de tipo centro comercial, 6% tipo aeroportuario, 6% de tipo carreteras y 9% a otros. Esto era previsible ya que los proyectos de edificaciones y centros comerciales están concentrados en una sola ubicación, lo que facilita el desarrollo de operaciones en comparación con otros proyectos que están dispersos.

Con respecto a las fases del proyecto de construcción, se desarrollaron principalmente en la fase de diseño y ejecución, seguida en la fase de diseño. Porque la fase de diseño es una etapa crucial en el ciclo de vida de un proyecto de construcción, donde surgen muchos problemas y dificultades [8].

En relación a la implementación Lean con BIM para responder a la PR3, los resultados indican que en la integración de las metodologías Lean-BIM se implementaron a partir de principios y herramientas Lean con funcionalidades y capacidades BIM. Los principios Lean con más interacciones fueron reducir la variabilidad, reducir el tiempo del ciclo de producción, diseñar el sistema de producción para flujo y valor, garantizar la captura integral de requisitos, cultivar una red ampliada de socios [21], [26]. También, la herramienta Lean más usada fue el Last Planner System [2], [4], [7], [10], [14], [15], [17], [20], [22], [27], [30], [32]–[34], [36]. Dichos hallazgos son relevantes para el conocimiento de la integración Lean-BIM, ya que es crucial destacar que principios y herramientas Lean tienen más conexiones.

Las funcionalidades BIM son visualización de la forma, colaboración en diseño y ejecución, la creación automatizada de dibujos y documentos, la creación rápida de múltiples alternativas de diseño, comunicación en línea basada en objetos electrónicos, reutilización de datos del modelo para análisis predictivo, mantenimiento de la información y la integridad del modelo de diseño, rápida creación y evaluación de múltiples alternativas de planes de construcción [5], [6]. También, las capacidades BIM usadas fueron cuantificación de cantidades, visualización, detección de interferencias, simulación 4D, colaboración, secuenciación y programación de la construcción 4D [2], [8], [11], [35]. Los resultados están en línea con la naturaleza y la importancia de BIM.

Sobre los resultados de la integración con BIM relacionados a la PR4, se muestra que en un 85% de los estudios, los resultados de la integración Lean-BIM producen sinergias entre ambas metodologías, porque principalmente se ha logrado un marco de análisis de principios Lean y funcionalidades BIM [6], uso del marco VDC (Virtual Design and Construction) [4], matriz de interacción de principios Lean y funcionalidades BIM [2], modelo teórico de madurez para evaluar el desempeño de la integración Lean y BIM [9], marco de capacidades BIM y beneficios Lean [11], marco CSM (Computer Simulation and Modelling) preliminar que integra BIM y LPS [36], marco interdisciplinario que incorpora BIM y principios Lean [19], identificaron nuevas interacciones mediante la integración Lean y BIM en las prácticas de las empresas constructoras [5], uso de TMM (Team Mental Models) para mejorar la integración de Lean y BIM [23], barreras para integración Lean y BIM [25], marco para identificar y medir la integración Lean y BIM [28], método de modelado para mejorar la eficiencia en la fase de ejecución mediante la integración de Lean y BIM [31]. Dado que el sector de la construcción se encuentra relegado en comparación con otras industrias, en los próximos años se espera que estos hallazgos cambien. Por lo que no solo se deberían encontrar interacciones para mejorar las fases de diseño y ejecución mediante la integración de Lean y BIM, sino que también se deberían llevar a cabo investigaciones sobre diseño de modelos automatizados para crear cronogramas, desarrollar algoritmos para mejorar la integración y otros temas similares [22], [29].

Además, se ha encontrado que el diseño de modelos teóricos, prototipos y uso de software fueron desarrollados en una proporción menor [22], [27], [29], [32], [33]. Puesto que, todavía existen obstáculos para la implementación de Lean y BIM, como la fuerte resistencia cultural, la falta de comprensión de Lean-BIM, la resistencia al cambio, la falta de conocimiento del método Lean-BIM y la falta de respaldo del personal superior [25].

V. CONCLUSIÓN

Según la literatura, la integración de los principios y herramientas Lean con funcionalidades y capacidades BIM mejora la eficiencia en los proyectos de construcción, lo que resulta en un incremento de productividad, ahorro de tiempo y reducción de costos. Además, se ha llegado a la conclusión

de que la integración Lean-BIM impulsan estas mejoras a lo largo del ciclo de vida del proyecto: diseño, ejecución y operación & mantenimiento. También, este estudio revela que los resultados de las investigaciones sobre integración Lean-BIM generalmente producen sinergias entre ambos enfoques porque se potencian mutuamente. No obstante, muy pocos estudios han investigado diseños de modelos teóricos, prototipos y uso de software.

Las empresas que implementan estos enfoques adquieren una ventaja competitiva en los proyectos de construcción, a través de una planificación adecuada que asegura el flujo del proceso, la detección de interferencias reduce la entrada de información incompleta y deficiente, la colaboración entre los participantes del proyecto, monitorear y controlar la gestión del tiempo y costo, visualización integral incluyendo toda la información relacionada dentro del modelo, entre otros. Por lo tanto, recomendamos que se implementen la integración Lean-BIM en las prácticas de gestión de los proyectos de construcción.

REFERENCIAS

- [1] M. Sbiti, K. Beddiar, D. Beladjine, R. Perrault, and B. Mazari, "Toward bim and lps data integration for lean site project management: A state-of-the-art review and recommendations," 5 2021.
- [2] V. Bhat, J. S. Trivedi, and B. Dave, "Improving design coordination with lean and bim, an indian case study," vol. 2. The International Group for Lean Construction, 2018, pp. 1206–1216.
- [3] M. G. M. Rodriguez, L. F. A. Cardenas, B. A. Dave, C. Mourgues, and L. Koskela, "Understanding the interaction between virtual design, construction and lean construction." Department of Engineering, Civil Engineering Division, Pontificia Universidad Catolica del Peru, 2021, pp. 107–115.
- [4] R. Fosse, G. Ballard, and M. Fischer, "Virtual design and construction: Aligning bim and lean in practice," *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 499–506, 2017.
- [5] G. L. Landim, L. M. Rocha, R. N. Nogueira, and J. P. Neto, "The synergies between lean and bim: A practical and theoretical comparison," *30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2022*, pp. 611–622, 2022.
- [6] R. Sacks, L. Koskela, . Bhargav, A. Dave, and R. Owen, "Interaction of lean and building information modeling in construction," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, pp. 968–980, 2010.
- [7] M. Tauriainen, P. Marttinen, B. Dave, and L. Koskela, "The effects of bim and lean construction on design management practices," vol. 164. Elsevier Ltd, 2016, pp. 567–574.
- [8] S. Mollasalehi, A. Rathnayake, A. A. Aboumoemen, J. Underwood, A. Fleming, U. Kulatunga, and P. Coates, "How bim-lean integration enhances the information management process in the construction design," *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 531–538, 2017.
- [9] S. Mollasalehi, A. A. Aboumoemen, A. Rathnayake, A. Fleming, and J. Underwood, "Development of an integrated bim and lean maturity model," vol. 2. The International Group for Lean Construction, 2018, pp. 1217–1228.
- [10] A. Nøklebye, F. Svaestuen, R. Fosse, and O. Lædre, "Enabling lean design with management of model maturity," vol. 1. The International Group for Lean Construction, 2018, pp. 79–89.
- [11] N. Singhal and R. Ahuja, "Can bim furnish lean benefits - an indian case study," vol. 1. The International Group for Lean Construction, 2018, pp. 90–100.
- [12] J. S. Junior, J. P. Baldauf, C. T. Formoso, and P. Tzortzopoulos, "Using bim and lean for modelling requirements in the design of healthcare projects," vol. 1. The International Group for Lean Construction, 2018, pp. 571–581.

- [13] B. Wang, "Research on engineering lean management based on building information modeling." Francis Academic Press Ltd., 12 2018, pp. 689–692.
- [14] L. A. Uriz, C. Sanz, and B. Sanchez, "Application of lean-bim model to improve design building phase's productivity," *Informes de la Construcción*, vol. 71, pp. 1–9, 2019.
- [15] J. Gómez, J. Ponz, and J. Romero, "Lean and bim implementation in colombia; interactions and lessons learned." The International Group for Lean Construction, 2019, pp. 1117–1128.
- [16] P. S. Lota and J. Trivedi, "Site layout planning through bim visualisation - a case study." The International Group for Lean Construction, 7 2019, pp. 865–876.
- [17] M. D. Andújar, A. Galiano, V. Echarri, and C. Rizo, "Bim-lean as a methodology to save execution costs in building construction-an experience under the spanish framework," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, 3 2020.
- [18] B. Pedo, A. Tezel, L. Koskela, A. Whitelock-Wainwright, D. Lenagan, and Q. A. Nguyen, "Lean contributions to bim processes: The case of clash management in highways design." Department of Engineering, Civil Engineering Division, Pontificia Universidad Catolica del Peru, 2021, pp. 116–125.
- [19] D. Silva, K. L. D. Jesus, B. Villaverde, A. I. Enciso, A. N. Mecija, and J. O. Mendoza, "Interdisciplinary framework: A building information modeling using structural equation analysis in lean construction project management," vol. 341. IOS Press BV, 10 2021, pp. 234–240.
- [20] P. D. Solar, M. D. Rio, R. Fuente, and C. Esteban, "Collaborative work tools in spanish construction sector. best practice proposal to implement last planner system (lps)," *Informes de la Construcción*, vol. 73, p. e383, 4 2021.
- [21] C. Peralta and C. Mourgues, "Understanding the relations between bim maturity models and lean principles," *30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2022*, pp. 925–936, 2022.
- [22] M. Sbiti, D. Beladjine, K. Beddiar, and B. Mazari, "Leveraging quantity surveying data and bim to automate mechanical and electrical (m & e) construction planning," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, 5 2022.
- [23] S. Davoudabadi, B. Pedo, A. Tezel, and L. Koskela, "A cognitive review for improving the collaboration between bim and lean experts." The International Group for Lean Construction, 2022, pp. 669–680.
- [24] A. M. Eldeep, M. A. Farag, and L. M. A. El-hafez, "Using bim as a lean management tool in construction processes – a case study," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, 3 2022.
- [25] A. J. Likita, M. B. Jelodar, V. Vishnupriya, J. O. B. Rotimi, and N. Vilasini, "Lean and bim implementation barriers in new zealand construction practice," *Buildings*, vol. 12, 10 2022.
- [26] Y. Arayici, O. B. Tokdemir, and M. Kassem, "A quantitative, evidence-based analysis of correlations between lean construction and building information modelling," *Smart and Sustainable Built Environment*, 2022.
- [27] V. V. Peshkov and L. T. Rada, "Improvement of organization and management of construction production based on bim technologies and lean construction," vol. 2434. American Institute of Physics Inc., 8 2022.
- [28] M. A. Rahman and S. Belayutham, "Bim-lean relationship assessment framework: A conceptual establishment." Ceylon Institute of Builders, 2022, pp. 185–197.
- [29] S. S. Uvarova, A. K. Orlov, and V. S. Kankhva, "Ensuring efficient implementation of lean construction projects using building information modeling," *Buildings*, vol. 13, 3 2023.
- [30] T. A. Syaputra and A. D. Rarasati, "A conceptual framework for implementing lean construction and building information modeling (bim) in post-disaster housing reconstruction projects," vol. 1173. Institute of Physics, 2023.
- [31] X. Zhao, H. Chen, J. Liu, J. Liu, M. Zhang, Y. Tao, J. Li, and X. Wang, "Research on full-element and multi-time-scale modeling method of bim for lean construction," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, 9 2023.
- [32] C. P. Schimanski, G. P. Monizza, C. Marcher, and D. T. Matt, "Conceptual foundations for a new lean bim-based production system in construction." The International Group for Lean Construction, 7 2019, pp. 877–888.
- [33] K. McHugh, B. Dave, and R. Craig, "Integrated lean and bim processes for modularised construction - a case study." The International Group for Lean Construction, 7 2019, pp. 227–238.
- [34] B. M. Etges, R. H. Reck, M. T. Fireman, J. L. Rodrigues, and E. L. Isatto, "Using bim with the last planner® system to improve constraints analysis." The International Group for Lean Construction, 2020, pp. 493–504.
- [35] S. Yang, "Application of bim during lean construction of high-rise buildings," *Stavební obzor - Civil Engineering Journal*, vol. 28, pp. 331–343, 10 2019.
- [36] A. N. Wickramasekara, V. A. Gonzalez, M. O. Sullivan, C. G. Walker, M. Poshdar, and F. Ying, "Exploring the integration of last planner® system, bim, and construction simulation." The International Group for Lean Construction, 2020, pp. 1057–1068.
- [37] M. D. Andújar-Montoya, A. Galiano-Garrigós, C. Rizo-Maestre, and V. Echarri-Iribarren, "Bim and lean construction interactions: A state-of-the-art review," vol. 192. WITPress, 2019, pp. 1–13.
- [38] D. Moher, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The prisma statement," *Annals of Internal Medicine*, vol. 151, p. 264, 8 2009.