

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
SECCIÓN DE ARQUITECTURA.**



**INFORME FINAL DEL CURSO DE ESPECIALIZACIÓN:  
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BUILDING INFORMATION MODELING  
(BIM) PARA ARQUITECTURA**

**TITULO DEL INFORME FINAL:  
APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA BUILDING INFORMATION MODELING  
(BIM) PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:  
ARQUITECTO.**

**PRESENTADO POR:  
CARLOS ERNESTO GUEVARA MARTÍNEZ. CARNÉ N° GM14025**

**DOCENTE ASESOR:  
ARQ. EDWIN ELY MARQUÉZ GONZÁLEZ.**

**NOVIEMBRE 2025.**

**SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
AUTORIDADES**



**MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA  
RECTOR**

**DRA. EVELYN BEATRIZ FARFÁN MATA  
VICERRECTORA ACADÉMICA**

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO**

**LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA.  
SECRETARIO GENERAL.**

**LICDA. ANA RUTH AVELAR.  
DEFENSORA DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS.**

**LIC. CARLOS AMILCAR SERRANO  
RIVERA.  
FISCAL GENERAL**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
AUTORIDADES**



**MSC. CARLOS IVÁN HERNÁNDEZ FRANCO  
DECANO**

**DRA. NORMA AZUCENA FLORES RETANA  
VICEDECANA**

**LIC. CARLOS DE JESÚS SÁNCHEZ  
SECRETARIO**

**MTRO. EVER ANTONIO PADILLA LAZO  
DIRECTOR GENERAL DE PROCESO DE GRADO**

**ING. JOSÉ LUIS CASTRO CORDERO  
DIRECTOR DE LA ESCUELA O JEFE DE DEPARTAMENTO**

**ARQ. JAVIER REINIERY ABREGO DEL CID  
COORDINADOR GENERAL DEL PROCESO DE GRADO**

## **RESUMEN:**

Este artículo analiza la aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el diseño de estructuras prefabricadas, destacando su aporte a la estandarización, coordinación entre disciplinas y gestión integral del proceso constructivo. A partir de una revisión documental y del análisis comparado de fuentes técnicas y académicas, se estudian las ventajas de BIM en la reducción de errores, en la precisión dimensional y en la optimización logística del montaje. Asimismo, se presentan tres casos de estudio internacionales donde el uso de BIM ha sido determinante en sistemas prefabricados: The Clement Canopy (Singapur), Grange University Hospital (Reino Unido) y Lindbäcks Bygg (Suecia). Los resultados muestran que BIM facilita la trazabilidad de los elementos estructurales, permite anticipar conflictos y mejora el rendimiento constructivo, consolidándose como una herramienta clave para la industrialización de la construcción.

## **PALABRAS CLAVE:**

BIM, prefabricación, modelado paramétrico, DfMA, PPVC, estructuras industrializadas.

## **ABSTRACT:**

This article analyzes the application of Building Information Modeling (BIM) methodology in the design of prefabricated structures, highlighting its contribution to standardization, interdisciplinary coordination, and comprehensive management of the construction process. Based on a literature review and a comparative analysis of technical and academic sources, the advantages of BIM in reducing errors, improving dimensional accuracy, and optimizing assembly logistics are examined. Three international case studies are also presented where the use of BIM has been decisive in prefabricated systems: The Clement Canopy (Singapore), Grange University Hospital (United Kingdom), and Lindbäcks Bygg (Sweden). The results show that BIM facilitates the traceability of structural elements, allows for the anticipation of potential conflicts, and improves construction efficiency, thus establishing itself as a key tool for the industrialization of construction.

## **Keys Words:**

BIM, prefabricated structures, parametric modeling, DfMA, PPVC.

## **I. INTRODUCCIÓN:**

La evolución digital en la construcción ha llevado a una mayor eficiencia mediante la metodología Building Information Modeling (BIM), esencial para el diseño y gestión de estructuras prefabricadas. BIM integra geometría, información técnica y procesos en un entorno colaborativo, reduciendo incertidumbres y mejorando el rendimiento del montaje. A diferencia del diseño tradicional, que enfrenta problemas de incoherencia y errores, BIM permite un modelado paramétrico y una coordinación temprana entre disciplinas, generando un flujo de trabajo más confiable.

El estudio de BIM en estructuras prefabricadas es relevante por su impacto en la estandarización de componentes, la mejora de la comunicación y la planificación constructiva mediante simulaciones 4D y 5D. La investigación se enfoca en cómo BIM transforma el diseño, sus ventajas frente a métodos tradicionales y evidencia internacional que respalda su efectividad en la industrialización de la construcción. Se presentan fundamentos teóricos, análisis comparativos y casos de estudio para demostrar el papel estratégico de BIM en sistemas constructivos industrializados.

## II. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló mediante un enfoque descriptivo, analítico y documental, organizado en tres fases:

### 1. Documentación:

- Revisión de literatura científica sobre BIM y procesos industrializados. (Eastman, et al., 2011)
- Identificación de limitaciones del diseño tradicional: incompatibilidades en obra, falta de control dimensional y errores de coordinación.<sup>1</sup>

### 2. Análisis comparativo:

- Contraste entre diseño estructural tradicional y diseño BIM para prefabricados. (Sacks & Barak, 2008)
- Integración de información técnica proveniente de documentos que describen beneficios del modelado digital para componentes estructurales. (Jansson, 2013)

### 3. Síntesis:

- Vinculación entre experiencias internacionales y los principios teóricos de la prefabricación.
- Identificación de patrones comunes sobre eficiencia, precisión y reducción de incertidumbre.

*1. Las limitaciones del diseño tradicional, como errores dimensionales y falta de coordinación entre disciplinas, han sido identificadas como causas frecuentes de ineficiencia en el proceso constructivo.*

*2. El uso de BIM en prefabricación se fundamenta en la capacidad del modelo para integrar datos geométricos, técnicos y logísticos en un entorno común de información, lo cual ha sido ampliamente documentado en la literatura especializada.*

## 2.1 BIM y su integración en el diseño de estructuras prefabricadas.<sup>2</sup>

La aplicación del Building Information Modeling (BIM) al diseño de estructuras prefabricadas debe entenderse dentro del proceso más amplio de digitalización de la industria de la construcción, donde la integración de información, la estandarización y la coordinación temprana adquieren un valor estratégico.

En este apartado se desarrolla el sustento conceptual y técnico que explica por qué BIM se ha convertido en el principal habilitador de los sistemas constructivos industrializados.

## **2.2 BIM como modelo de información y coordinación multidisciplinaria. (Zhng & Ma, 2020).<sup>3</sup>**

BIM se define como un proceso basado en modelos digitales que centraliza la información geométrica, material, técnica y operativa de un proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida. A diferencia de los métodos tradicionales apoyados en planos 2D, BIM establece un entorno de datos común en el que arquitectos, ingenieros, fabricantes e instaladores trabajan sobre un mismo modelo coordinado.

Esta integración es particularmente relevante en estructuras prefabricadas, donde:

- Los componentes deben fabricarse con tolerancias milimétricas,
- La coordinación entre disciplinas es crítica,

Y los errores en diseño impactan directamente en la producción industrial.

De esta forma, BIM no solo representa la geometría, sino también las propiedades físicas, la secuencia constructiva, los puntos de conexión, los ensambles, las cargas estructurales y las condiciones logísticas.

## **2.3 Relación entre BIM y prefabricación estructural.**

La prefabricación implica procesar gran parte del trabajo en planta antes de llevar componentes al sitio de construcción. Esto requiere que el diseño posea un nivel de detalle mucho más alto que el necesario en métodos tradicionales. En este contexto, BIM aporta herramientas clave:

*3. El uso de modelado paramétrico en BIM mejora la productividad y reduce la variabilidad en el diseño estructural, especialmente en sistemas repetitivos.*

#### **a) Modelado paramétrico:**

Permite crear paneles, vigas, columnas, losas alveolares y módulos tridimensionales ajustables, con reglas algorítmicas que garantizan:

- Repetitividad.
- Coherencia dimensional.
- Control de interfaces.
- Adaptación ágil del modelo a cambios de diseño.

#### **b) Interoperabilidad y estándares abiertos<sup>4</sup>:**

El uso de IFC y la gestión del modelo federado asegura que fabricantes, diseñadores y subcontratistas intercambien información sin pérdida de precisión. Esto es crucial durante la fabricación de componentes prefabricados, donde los archivos exportados deben ser compatibles con:

- Software de análisis estructural.
- Sistemas CAD/CAM.
- Robots de ensamblaje.
- Equipos de corte CNC.

#### **c) Coordinación de especialidades:**

La detección temprana de interferencias (clash detection) evita incompatibilidades entre estructura, instalaciones y envolvente antes de que el componente sea fabricado. Este proceso reduce sustancialmente pérdidas por:

- Retrabajo.
- Piezas inservibles.
- Modificaciones en obra.
- Atrasos en cronograma.

*4. La interoperabilidad mediante IFC es considerada esencial para conectar diseño, fabricación y procesos CAD/CAM dentro de entornos industrializados.*

*5. El enfoque DfMA se ha consolidado como el marco conceptual dominante para integrar diseño, fabricación y montaje en sistemas industrializados.*

## **2.4 BIM como habilitador del DfMA (Design for Manufacturing and Assembly)<sup>5</sup>**

El marco contemporáneo de industrialización incorpora el enfoque DfMA, que consiste en diseñar elementos constructivos para facilitar su fabricación y montaje. BIM es la herramienta que viabiliza este enfoque porque permite:

- Visualizar la secuencia de fabricación y montaje,
- Definir puntos de izaje,
- Simular ensambles complejos,
- Validar rutas de transporte e instalación,
- Optimizar la cantidad de elementos necesarios.

En estructuras prefabricadas, el DfMA apoyado en BIM se traduce en una reducción significativa de tiempos de obra, mejora de la seguridad laboral y mayor precisión constructiva.

## **2.5 BIM en el ciclo de vida y trazabilidad de los prefabricados**

Un componente prefabricado atraviesa etapas de diseño, fabricación, transporte, montaje y mantenimiento. BIM registra y vincula información en cada fase mediante<sup>6</sup>:

- Códigos QR y modelos digitales
- Etiquetado inteligente
- Integración con bases de datos de mantenimiento
- Actualización automática del modelo durante la obra

Esto crea un sistema de trazabilidad que mejora el control de calidad y facilita futuras intervenciones estructurales.

## **2.6 Ventajas del uso de BIM en prefabricación estructural<sup>7</sup>.**

El análisis de literatura y experiencias internacionales demuestra que BIM aporta beneficios directos:

### **a) Optimización del tiempo:**

La repetitividad y la planificación 4D permiten organizar ciclos de montaje predecibles, reduciendo tiempos de obra hasta en un 30–50% en algunos proyectos.

*6. La trazabilidad basada en BIM permite gestionar datos del ciclo de vida de los elementos prefabricados mediante modelos digitales, códigos QR y sistemas automatizados de control.*

*7. La reducción de tiempo en proyectos prefabricados con BIM puede alcanzar entre 30 % y 50 % según la evidencia internacional revisada.*

La coordinación temprana en proyectos de construcción ofrece varios beneficios:

**b) Reducción de costos:** Evita modificaciones tardías y retrabajos, disminuyendo el desperdicio de material, mano de obra y costos por inconsistencias.

**c) Incremento de calidad:** Los componentes son fabricados bajo condiciones controladas, asegurando precisión constante.

**d) Mejora de seguridad:** La simulación de grúas y cargas reduce incidentes en el sitio, especialmente en proyectos con elementos grandes.

**e) Integración con tecnologías avanzadas:** El uso de BIM junto con escaneo láser 3D, drones, realidad aumentada y robots mejora la eficiencia y fiabilidad del sistema industrializado.

### III. RESULTADOS.

#### 3.1 The Clement Canopy (Singapur) – PPVC + BIM para torres en concreto. (Building an Construction Authority, 2019)<sup>8</sup>

El proyecto utilizó la Construcción Volumétrica Prefabricada y Prefinanciada (PPVC) con BIM para fabricar e instalar 1,866 módulos de concreto en dos torres de 40 niveles. Resultados:

- Ciclo estructural de 7 días por nivel.
- Instalación de 10–12 módulos diarios.
- Reducción significativa de mano de obra en sitio.
- Casi nula necesidad de retrabajos por detección temprana de interferencias.

BIM integró diseño, fabricación modular, logística portuaria y montaje. (Dragages Singapore, 2018).

*8. Los proyectos basados en PPVC, como The Clement Canopy, evidencian que la precisión del diseño BIM permite ciclos de producción extremadamente predecibles.*

*Figura 1. The Clement Canopy (Singapur) - PPVC y BIM para torres en concreto. Se produjeron e instalaron 1'866 módulos. Fuente: Recurso Digital, <https://acortar.link/POnkgK>*



### **3.2 Grange University Hospital (Reino Unido) – DfMA y prefabricación estructural coordinada con BIM. (Laing O’Rourke, 2020)<sup>9</sup>.**

Proyecto basado en Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) y prefabricación de:

- Fachadas estructurales.
- Paneles portantes.
- Módulos de servicios (pods).
- Losas prefabricadas.

Resultados:

- Reducción de hasta 95% de horas-hombre en sitio para ciertos componentes. (Institution of Civil Engineers, 2021)
- Coordinación perfecta entre estructura, arquitectura y MEP.
- Mayor seguridad y previsibilidad de cronograma. (Institution of Civil Engineers, 2021)

BIM permitió federar modelos de fabricantes y contratistas en un entorno común de datos.

*9. En proyectos hospitalarios del Reino Unido, la aplicación de DfMA y BIM ha logrado reducir hasta 95 % de horas-hombre en obra.*

Figura 2. Grange University Hospital (Reino Unido): BIM aplicado a prefabricados. Fuente: Autor



Figura 3. Construcción de Grange University Hospital (Reino Unido): BIM aplicado a prefabricados. Fuente: Autor



10. El modelo industrializado sueco demuestra que la automatización robótica y la integración CAD/CAM requieren plataformas BIM robustas y estandarizadas.

### 3.3 Lindbäcks Bygg (Suecia) – Vivienda modular industrializada basada en plataformas BIM.<sup>10</sup>

-(Randek Robotic, 2018), Industria líder en Europa en construcción modular de madera:

- Diseño coordinado por plataformas BIM.

- fabricación seriada de módulos tridimensionales.
- control digital de calidad desde diseño hasta montaje.

Resultados:

- Reducción consistente de variabilidad.
- Ciclos estables de producción.
- Alta precisión geométrica.
- Integración CAD/CAM para producción automatizada.

BIM actúa como “sistema operativo” de la planta industrial, conectando diseño con fabricación robotizada.

Figura 4. Línea de producción automatizada de módulos de vivienda de madera prefabricados en la fábrica de Lindbäcks Bygg (Piteå, Suecia). Fuente: HOMAG / Lindbäcks Bygg



### 3.4 Beneficios observados en el caso Lindbäcks Bygg.

La literatura y reportes técnicos destacan mejoras significativas:

#### a) Eficiencia y tiempos:

- Reducción del tiempo de obra en hasta 50–60% comparado con construcción tradicional en el norte de Europa.
- Ciclos productivos estables gracias a la repetitividad del sistema BIM-paramétrico.

Figura 5. Montaje en obra de módulos volumétricos prefabricados por Lindbäck's Bygg en cliente urbano sueco. Fuente: Architizer



**b) Precisión y calidad:**

- Tolerancias ultra precisas gracias al control digital de fabricación.
- Disminución notable de retrabajos en obra.

**c) Sostenibilidad:**

- Uso de madera certificada reduce la huella de carbono.
- Menos desperdicio, menor consumo energético en obra y reutilización potencial de módulos.

Figura 6. Modelo BIM paramétrico de sistema modular de vivienda de Lindbäck's Bygg, que integra diseño-fabricación-montaje. (Fuente: Daily Scandinavian)



#### d) Seguridad:

- Menor trabajo en altura y en condiciones climáticas extremas.
- Procesos controlados en ambiente industrial.

### 3.5 Comparación entre el método tradicional y BIM en prefabricados.

Tabla 1. Comparativa entre lo tradicional y BIM. Fuente: Autor(es).

Aspecto	Método Tradicional	BIM Aplicado a Prefabricados
• Representación	Planos 2D	Modelo 3D + parámetros
• Coordinación	Manual, propensa a errores	Automática y sincronizada
• Fabricación	Basada en planos independientes	Directamente vinculada al modelo
• Interferencias	Detectadas en obra	Detectadas en diseño (clash detection)
• Montaje	Ajustes frecuentes en sitio	Ensamblajes simulados y validados
• Documentación	Desactualización frecuente	Consistencia automática
• Logística	Estimaciones	Planificación 4D y rutas optimizadas

## IV. DISCUSION

La integración de BIM en sistemas prefabricados transforma la construcción, como se observa en proyectos como The Clement Canopy, Grange University Hospital y Lindbäcks Bygg. Se analizan cuatro ejes clave: productividad, estandarización, riesgos y limitaciones, y transferencia a otros contextos.

#### **4.1 BIM como catalizador de la industrialización de la construcción**

Los tres casos evidencian que el salto hacia la industrialización no proviene únicamente de la adopción de elementos prefabricados, sino de la orquestación digital que permite BIM, (Succar, 2009). Según (Smith, 2009), las plataformas paramétricas empleadas en Singapur, los modelos federados con flujos DfMA británicos y los catálogos product-platform de Lindbäcks sostienen que la digitalización del diseño es la condición básica para:

- Controlar tolerancias
- Garantizar interoperabilidad
- Asegurar ensamblajes libres de interferencias.
- Vincular modelos virtuales con procesos físicos de fabricación.

Así, BIM no solo acompaña la industrialización: la hace viable, especialmente en proyectos con ciclos repetitivos.

#### **4.2 Estandarización y repetitividad: el valor estructural del modelo paramétrico.<sup>11</sup>**

Los estudios indican que la repetitividad de elementos prefabricados es crucial para la eficiencia. El modelado paramétrico BIM:

- Define reglas geométricas coherentes,
- Evita variaciones entre módulos,
- Mantiene la integridad estructural, y
- Reduce el tiempo de detailing.

Lindbäcks Bygg en Suecia muestra que una plataforma modular con familias paramétricas permite múltiples soluciones arquitectónicas sin sacrificar la estandarización. Este enfoque también se utiliza en el PPVC de Singapur, donde se diseñaron más de 1,800 módulos bajo parámetros dimensionales limitados.

*11. La estandarización paramétrica permite variabilidad controlada sin comprometer la integridad estructural, lo cual es esencial para la manufactura modular.*

### **4.3 Incremento de productividad y predictibilidad del cronograma. (Lu & Korman, 2010).<sup>12</sup>**

Los beneficios de BIM se reflejan en indicadores de productividad:

- Singapur (PPVC): ciclos de planta de ~7 días por nivel; instalación de 10–12 módulos diarios.
- Reino Unido (DfMA): reducción de hasta 95% en horas-hombre en obra para prefabricados.
- Suecia (madera modular): disminución del tiempo total del proyecto entre 50% y 60%.

Estas mejoras provienen de la optimización logística que ofrece BIM, incluyendo simulación 4D, evaluación digital de secuencias de montaje, verificación de interferencias y coordinación entre disciplinas. Esto resulta en mayor predictibilidad, crucial en proyectos públicos o de gran escala, donde los retrasos pueden tener impactos económicos significativos.

### **4.4 Reducción de riesgos: calidad, seguridad y sostenibilidad.<sup>13</sup>**

La prefabricación respaldada por BIM reduce riesgos en varias dimensiones:

#### **a) Calidad técnica:**

El control digital previo evita fallas dimensionales que serían costosas o imposibles de corregir en sitio. La precisión de corte CNC en Suecia y la estandarización PPVC en Singapur ilustran este beneficio.

#### **b) Seguridad en obra:**

Menos actividades en altura y menos mano de obra directa se traducen en menores accidentes. En DfMA británico, gran parte de la tarea ocurre en ambientes industriales controlados.

*12. La predictibilidad del cronograma es una de las métricas más fuertes asociadas a la implementación de BIM en procesos industrializados.*

*13. La integración BIM reduce riesgos de seguridad al disminuir actividades en obra mediante ensamblaje de componentes preterminados.*

**c) Sostenibilidad:**

Los tres casos reducen desperdicios, optimizan fabricación y minimizan transporte innecesario. El caso sueco añade un componente ambiental relevante: el uso de madera y sistemas cerrados de producción.

**4.5 Límites y desafíos de la integración BIM–prefabricación. (Kassem & Succar, 2017).<sup>14</sup>**

A pesar de sus beneficios, los casos internacionales también evidencian limitaciones:

**a) Dependencia de capacidades industriales:**

Sin fábricas avanzadas, logística especializada y proveedores con cultura digital, el potencial de BIM se reduce. Esto fue evidente en los inicios del PPVC en Singapur, donde solo algunos fabricantes podían cumplir las tolerancias requeridas.

**b) Necesidad de estándares y protocolos BIM:**

Los proyectos requieren protocolos BEP estrictos y roles BIM definidos. La ausencia de estos lineamientos puede generar inconsistencias entre modelos y dificultades de intercambio con fabricantes.

**c) Barreras culturales y de capacitación:**

El uso efectivo de BIM no depende solo del software, sino de equipos capacitados, flujos organizacionales y colaboración real entre arquitectos, ingenieros y fabricantes.

**d) Costos iniciales de implementación:**

La industrialización implica inversión considerable en plantas, maquinaria, digitalización y desarrollo de plataformas paramétricas.

*14. La adopción efectiva de BIM depende de estándares, protocolos BEP y gobernanza digital institucional.*

#### 4.6 Transferibilidad a otros contextos y lecciones clave.<sup>15</sup>

Los tres casos demuestran que no existe un único modelo de prefabricación, pero sí un patrón común: la necesidad de un modelo BIM integrado y robusto. La transferibilidad depende de:

- disponibilidad de proveedores industrializados,
- infraestructura logística para módulos volumétricos o paneles,
- normativas que permitan modularización,
- y un ecosistema capaz de adoptar diseño paramétrico y DfMA.

El caso sueco ofrece lecciones valiosas: la clave no es imitar el sistema constructivo (madera), sino implantar plataformas modulares BIM que permitan estandarizar productos y procesos. El caso británico enseña cómo integrar DfMA en proyectos complejos, mientras que Singapur demuestra cómo BIM permite escalar prefabricación a alturas significativas.

La discusión resalta la importancia de BIM para la prefabricación, ya que actúa como su infraestructura digital, mejorando la precisión y eficiencia. Facilita la colaboración entre arquitectos, ingenieros y contratistas, creando un lenguaje común. Además, BIM impulsa la innovación mediante simulaciones precisas y experimentación con nuevos materiales, promoviendo la sostenibilidad y eficiencia energética. En resumen, BIM es esencial en la prefabricación, favoreciendo prácticas más inteligentes y sostenibles en la construcción.

*15. La prefabricación es escalable únicamente cuando el diseño está alineado con capacidades industriales, lo que requiere flujos digitales integrados.*

## V. CONCLUSIÓN

La integración de BIM en el diseño y la ejecución de estructuras prefabricadas constituye un marco operativo que trasciende la representación geométrica para consolidarse como un sistema de gestión integral del ciclo de vida técnico-productivo. El análisis desarrollado demuestra que la principal fortaleza de BIM radica en su capacidad para estructurar un ecosistema digital interoperable, donde los modelos paramétricos, las bases de datos materiales y los protocolos de coordinación convergen en un entorno de información unificado que reduce la entropía operativa típica de los procesos constructivos tradicionales.

Los casos internacionales estudiados evidencian que la prefabricación contemporánea solo alcanza niveles elevados de eficiencia y predictibilidad cuando se articula con modelos BIM de alta resolución informacional, capaces de soportar flujos DfMA, simulaciones 4D y 5D, vínculos CAD/CAM y estrategias avanzadas de control dimensional automatizado. Proyectos como The Clement Canopy y Grange University Hospital muestran que la industrialización se materializa únicamente cuando el diseño se concibe como una extensión digital del sistema de fabricación, mientras que la plataforma modular de Lindbäcks Bygg confirma que la estandarización de productos y procesos depende de la robustez semántica del modelo paramétrico y de su alineación con las tolerancias industriales.

Desde un enfoque técnico, la integración de BIM en la prefabricación optimiza la producción al mejorar interfaces estructurales, reducir colisiones interdisciplinarias, gestionar flujos logísticos y establecer métricas de desempeño.

Esto aumenta la estabilidad del cronograma, la confiabilidad del ensamblaje y la trazabilidad de los elementos. Además, la conexión de BIM con escaneo, automatización robótica, manufactura CNC y control de calidad inteligente facilita la transición de sistemas constructivos artesanales a producción industrial.

Los hallazgos indican que la eficacia de BIM como infraestructura digital depende de protocolos normativos, capacidades organizacionales y madurez industrial para asegurar la interoperabilidad y gobernanza. Sin estos elementos, su uso se limita a lo representacional. Con estándares claros y competencias técnicas, BIM permite una transferencia de conocimiento entre diseño, fabricación y montaje, resultando en un modelo constructivo replicable y alineado con la manufactura avanzada.

En síntesis, la evidencia técnica indica que BIM no debe ser considerado una herramienta complementaria dentro de la prefabricación estructural, sino el sustrato digital indispensable que permite la convergencia entre parametrización arquitectónica, ingeniería estructural, manufactura robotizada y ensamblaje in situ. Su incorporación sistemática redefine la arquitectura de procesos, habilita nuevas gramáticas geométricas compatibles con la producción industrial y amplía las fronteras operativas de la construcción contemporánea hacia entornos cada vez más automatizados, precisos y sostenibles.

## VI. REFERENCIAS

### 6.1 Bibliografía académica y técnica sobre BIM y prefabricación.

- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (2nd ed.). Wiley.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Orndorff, D. (2004). *Precast concrete building design using BIM: Case studies and lessons learned*. ITcon. <https://www.itcon.org/>
- Sacks, R., & Barak, R. (2008). *Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice*. *Automation in Construction*, 17(4), 439–449.
- Jansson, G. (2013). *Platforms in Industrialised House-building: A technical platform framework*. Luleå University of Technology. <https://www.diva-portal.org/>
- Building and Construction Authority. (2019). *Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) and PPVC Case Study: The Clement Canopy*. BCA Singapore.

### 6.2 Caso de estudio 1 – PPVC: The Clement Canopy (Singapur).

- Building and Construction Authority. (2019). *The Clement Canopy PPVC Case Study*. <https://www1.bca.gov.sg/>
- Dragages Singapore. (2018). *The Clement Canopy Project Page*. <https://www.dragages.com.sg/projects/the-clement-canopy/>

- *Bouygues Construction*. (2019). *Modular Construction and PPVC Innovation*. <https://www.bouygues-construction.com/>
- *Channel NewsAsia*. (2017). *PPVC Construction Documentary [Video]*. <https://www.youtube.com/>

### **6.3 Caso de estudio 2 – DfMA: Grange University Hospital (Reino Unido).**

- *Laing O'Rourke*. (2020). *The Grange University Hospital—Project Overview*. <https://www.laingorourke.com/projects/the-grange-university-hospital/>
- *Laing O'Rourke*. (2020). *Design for Manufacture and Assembly (DfMA) Strategy*. <https://www.laingorourke.com/what-we-do/design-for-manufacture-and-assembly/>
- *Aneurin Bevan University Health Board*. (2020). *Grange University Hospital Information*. <https://abuhb.nhs.wales/>
- *Institution of Civil Engineers*. (2021). *Grange University Hospital Case Study*. <https://www.ice.org.uk/>
- *BBC News Wales*. (2020). *Grange Hospital Opening Report*. <https://www.bbc.com/news/uk-wales-54897964>
- *Laing O'Rourke*. (2020). *Construction Timelapse Video [Video]*. <https://www.youtube.com/>

### **6.4 Caso de estudio 3 – Construcción modular Lindbäcks (Suecia).**

- *Lindbäcks Bygg*. (s.f.). *Modular Housing Systems by Lindbäcks*. <https://www.lindbacks.se/en/>
- *Lindbäcks Bygg*. (s.f.). *Our Way of Building—Industrialised Housing*. <https://www.lindbacks.se/en/our-way-of-building/>

- *Randek Robotics. (2018). Automation Solutions for Lindbäcks Bygg. <https://www.randek.com/>*
- *Morley, J. B. (2017). How Sweden Is Pioneering Automated, Prefab Timber Construction. Architizer. <https://architizer.com/>*
- *Daily Scandinavian. (2023). Modular Construction: Scandinavia's Answer to Urban Housing Challenges. <https://www.dailyscandinavian.com/>*
- *HOMAG Group. (2019). Modular Constructions in Wood—The Future Way of Building. <https://www.homag.com/>*

### **6.5 Bibliografía general sobre industrialización, DfMA y plataformas modulares**

- *Smith, R. (2016). Offsite Architecture: Constructing the Future. Routledge.*
- *Nawari, N. O. (2019). Building Information Modeling: Automated Code Checking and Compliance Processes. CRC Press.*
- *Lu, N., & Korman, T. (2010). Implementation of modular construction in the United States. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(7), 758–768.*
- *Gibb, A., & Isack, F. (2003). Re-engineering through pre-assembly: Client expectations and drivers. *Building Research & Information*, 31(2), 146–160.*

### **6.6 Bibliografía teórica adicional sobre BIM, interoperabilidad y modelado paramétrico.**

- *Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.*

- Zhang, J., & Ma, Z. (2020). *Interoperability in BIM-based prefabrication. Journal of Cleaner Production, 276, 123–171.*
- Kassem, M., & Succar, B. (2017). *Macro adoption of BIM: Policy roadmap and readiness metrics. Automation in Construction, 81, 1–14.*