



# Impactos de la construcción industrializada desde una triple perspectiva: económica, medioambiental y social

Caso de estudio de un edificio residencial

---

Cátedra de vivienda digna y sostenible

Abril 2025

---

Con la colaboración de:





# Contenidos

<b>Presentación</b>	<b>5</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>6</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>10</b>
<b>2. La construcción tradicional vista desde una perspectiva económica, medioambiental y social</b>	<b>12</b>
<b>3. Nuevos sistemas constructivos: Construcción industrializada</b>	<b>18</b>
<b>4. Impactos de la construcción industrializada desde una triple perspectiva: económica, medioambiental y social</b>	<b>25</b>
<b>5. Resultados de las entrevistas con expertos</b>	<b>29</b>
<b>6. Resultados del análisis del caso de estudio</b>	<b>32</b>
<b>7. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>40</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>44</b>
<b>9. Anexos</b>	<b>45</b>

# Índice de figuras

<b>Figura 1. Estructura de costes de un proyecto de construcción</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2. Estimación de gastos de promoción</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3. Cuadro comparativo de costes de construcción</b>	<b>14</b>
<b>Figura 4. Síntesis de los factores clave para el sector inmobiliario</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5. Diferencias entre la construcción tradicional e industrializada</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6. Datos oferta económica edificio residencial</b>	<b>32</b>
<b>Figura 7. Principales capítulos presupuesto ejecución material</b>	<b>33</b>
<b>Figura 8. Principales impactos en el capítulo de estructura</b>	<b>33</b>
<b>Figura 9. Principales impactos en el capítulo de arquitectura</b>	<b>34</b>
<b>Figura 10. Principales impactos en los gastos generales</b>	<b>34</b>
<b>Figura 11. Tabla resumen de los principales ahorros derivados de la aplicación de la construcción industrializada</b>	<b>35</b>
<b>Figura 12. Impacto económico de los diferentes factores de impacto</b>	<b>35</b>
<b>Figura 13. Comparación de los presupuestos PEM y PEC según supuesto de construcción tradicional o industrialización</b>	<b>35</b>
<b>Figura 14. Coste de financiación para la empresa promotora</b>	<b>35</b>
<b>Figura 15. Ahorro en el consumo de agua durante el proceso constructivo</b>	<b>36</b>
<b>Figura 16. Generación de residuos de obra con sistema de construcción tradicional</b>	<b>36</b>
<b>Figura 17. Generación de residuos de obra con sistema de construcción industrializada</b>	<b>37</b>
<b>Figura 18. Lista de indicadores de los factores clave de sostenibilidad</b>	<b>42</b>

# Presentación

Este estudio es el quinto trabajo de investigación aplicada de la Cátedra de Vivienda Digna y Sostenible de la UPF Barcelona School of Management, un espacio de reflexión que nace de la colaboración con la Fundación Metropolitan House, con el objetivo de analizar el sector inmobiliario desde una perspectiva social, medioambiental y económica. Específicamente, la cátedra se plantea:

- Generar y desarrollar el conocimiento sobre las políticas del hábitat de una visión económica, fiscal y financiera, social y de gestión, orientada a la mejor calidad de vida de los ciudadanos, a preservar el medio ambiente, la eficiencia y la sostenibilidad del sector inmobiliario.
- Desarrollar actividades de transferencia de conocimiento y divulgación del conocimiento generado, a partir de la organización de jornadas y conferencias, publicación de artículos divulgativos, elaboración de casos de estudio, entre otros.
- Desarrollamos actividades relacionadas con la formación y capacitación de los profesionales del sector inmobiliario, a partir de la creación de programas de formación, prácticas en empresas inmobiliarias, etc.
- Estos estudios se comprometen con el objeto de realizar investigaciones de impacto para transferir el conocimiento a la sociedad. Además, este trabajo de investigación se marca en la Agenda 2030, aprobado el septiembre de 2015 para las Naciones Unidas, incidente directo en los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):



## Sobre la coautoría:

### **Ramon Bastida Vialcanet**

Doctor en Administración y Dirección de Empresas. Es profesor titular (Associate Professor) del departamento de finanzas y control en la UPF Barcelona School of Management. Es el director del International MBA y de la Cátedra de Vivienda Digna y Sostenible de la UPF-BSM. También es profesor asociado de la Facultad de Economía y Empresa de la Universitat Pompeu Fabra.

### **Ferran Piqué Anguera**

Economista. Graduado en Ciencias Empresariales - Management por la Universitat Pompeu Fabra, y posteriormente posgrado en Innovación y Design Thinking por la UPF Barcelona School of Management. En la actualidad se dedica a la consultoría estratégica, colabora con medios de comunicación en el ámbito económico y empresarial, y participa entre otros en la Comisión de Economía Industrial y la Comisión de Economía y Sostenibilidad Col·legi d'Economistes de Catalunya.

Queremos agradecer la colaboración a María Martín, profesora de la UPF Barcelona School of Management, y a todas las personas que han participado en las entrevistas realizadas durante el trabajo de campo de este estudio:

Álvaro Nogueira San Román (Grupo Avintia)  
Andres Rituerto Gil (Culmia)  
Anna Guanter Feixas (Culmia)  
Francisco Diéguez Lorenzo (ITEC)  
Jerónimo Junquera González-Bueno (Junquera Arquitectos)  
Juan José Rodríguez (Metropolitan House)  
Juan Manuel Borrás González (Culmia)  
Miguel Ángel Angulo (Metropolitan House)  
Miguel Morte Morales (CompactHabit)

# Resumen ejecutivo

El sector de la construcción representa el 4,5 del PIB de Cataluña, y el 5,4% en el conjunto de España. Es un sector muy importante en el desarrollo económico y en la creación de puestos del trabajo. Pero a la vez, este sector también es responsable de un 35% de la generación de residuos, y de entre el 5 y el 12% de las emisiones de CO<sub>2</sub> totales a nivel europeo. A pesar de que, si tenemos en cuenta tanto las emisiones de construcción como las de uso de los edificios, estas representan casi un 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> globales<sup>1</sup>.

Los esfuerzos de innovación en el proceso de construcción han llevado al desarrollo de nuevos sistemas constructivos. Uno de estos nuevos sistemas constructivos es la construcción industrializada. Este sistema consiste en el uso de elementos de una obra prefabricados en una fábrica, y que posteriormente, se ensamblan en la obra. Existen varios sistemas de construcción industrializada, como los módulos estructurales en dos y tres dimensiones, los componentes prefabricados estructurales y no estructurales, o los productos y procesos sustitutivos tradicionales, entre otros.

Existe un consenso importante entre los expertos sobre que la construcción industrializada presenta ventajas importantes respecto a la construcción tradicional. Algunas de las ventajas más destacadas son:

- **La reducción del tiempo de ejecución de la obra:** La posibilidad de producir componentes simultáneamente en fábrica, y de avanzar en tareas de preparación en la obra, permite reducir el plazo de entrega. La reducción del tiempo de la obra implica una reducción en algunos costes relacionados con la ejecución de la obra, la posibilidad de disponer antes de las viviendas, y la disminución de las molestias a los residentes próximos a la obra, entre otros.
- **La mejora de la calidad y precisión de los componentes:** la producción en entornos controlados de fábrica permite una alta precisión y consistencia en la calidad de los componentes, minimizando errores y variabilidad en el producto final. La mejora de la calidad y la precisión de los componentes también tiene un impacto positivo en el consumo y la eficiencia energética de las viviendas, o en los costes de post-venta y mantenimiento de la empresa constructora.



<sup>1</sup> 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector, Adapted from "Tracking Clean Energy Progress" (IEA 2022)

- **La mejora de las condiciones de trabajo y la seguridad laboral:** la mayor parte del proceso se hace en fábricas, lo cual reduce la exposición de los trabajadores a riesgos laborales comunes en obras, como trabajos en altura y uso de equipamiento pesado. Además, el uso de la tecnología y equipos automatizados permite realizar los procesos de una manera más eficiente, reduciendo el consumo de materiales y la generación de residuos, y aumentando el nivel de productividad de los trabajadores.

Hay otros aspectos de la construcción industrializada en los que no existe tanto consenso entre los expertos, y que posiblemente representan una barrera para que aumente el uso de este sistema constructivo. Algunas de las barreras más destacadas son:

- **La rigidez y la flexibilidad en el diseño de los edificios:** la construcción industrializada necesita un diseño detallado desde el inicio, lo cual limita la capacidad de hacer cambios durante el proyecto y puede ser un inconveniente ante imprevistos. Aun así, hay expertos que consideran que a pesar de que la construcción industrializada requiere la estandarización de los componentes prefabricados, esto no empeora el diseño de los edificios industrializados respecto a los edificios construidos con métodos tradicionales.
- **La gestión de la cadena de suministro:** la construcción industrializada requiere proveedores más especializados capaces de proveer soluciones a medida. Esto genera una dependencia que con la construcción tradicional es menor, puesto que los materiales pueden ser más *commodity*. Además, actualmente los proveedores de soluciones para la industrialización son pocos y, por tanto, hay poca competencia.
- **La financiación de los edificios industrializados:** la concesión de financiación a los promotores inmobiliarios está basado en las certificaciones de obra, que se obtienen una vez se ejecutan las diversas fases de la obra. Actualmente, este sistema de financiación no contempla que haya procesos de la obra que se realicen en una fábrica, y no permite su financiación hasta que estos elementos prefabricados se ensamblen en la obra.

Este estudio tiene como objetivo el análisis de los impactos, desde la perspectiva económica, medioambiental y social, de la aplicación de soluciones de construcción industrializada en un proyecto de edificación residencial. Se trata de un edificio de 70 viviendas y aproximadamente 12.000 m<sup>2</sup> de superficie construida, situado en el área metropolitana de Barcelona.

El análisis de la perspectiva económica se ha focalizado

en identificar y cuantificar los principales impactos en la estructura de costes de construcción del edificio. En este sentido, se han analizado las diferentes partidas de costes directos e indirectos incluidas en el presupuesto de ejecución material (PEM), las partidas de gastos generales previstos en el presupuesto de ejecución de contrato (PEC), y otros costes a cargo de la empresa promotora, como por ejemplo, la financiación del proyecto.

Los principales resultados del análisis de la estructura de costes del edificio son:

- La aplicación de soluciones de construcción industrializada genera un ahorro de costes del 2,68% respecto al PEC del edificio previsto en base a la aplicación de sistemas de construcción tradicional. En valor absoluto se genera un ahorro de 313.877 Eur sobre un presupuesto total de 11.702.018 Eur.
- Los gastos generales representan casi el 70% de los costes ahorrados utilizando estos nuevos sistemas constructivos. La reducción de la duración de la obra supone una reducción de gastos relacionados con el personal de dirección, personal de obra, y estructuras de obra, que incluyen los alquileres de la grúa y las casetas de obra, o varios tipos de maquinaria, entre otros.
- Los ahorros en los costes directos e indirectos de ejecución de obra se limitan a los capítulos relacionados con la estructura y la arquitectura del PEC, y se producen debido a la reducción del plazo de ejecución de la obra y de los residuos generados.
- La reducción del plazo de entrega de la obra puede suponer una disminución de hasta un 30% del coste de la financiación derivada del préstamo promotor. Este potencial ahorro financiero dependerá de variables como el importe del préstamo o del tipo de interés, entre otros.

El análisis de la perspectiva de la sostenibilidad se centra en identificar los factores medioambientales y sociales que se verían afectados por el uso de soluciones de construcción industrializada. En el caso de esta perspectiva, ha sido complicado cuantificar los impactos generados debido a la falta de información y datos de la mayoría de factores relevantes, como por ejemplo, las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo y reciclaje de materiales, las condiciones laborales, etc.

Los principales resultados del análisis de los factores de sostenibilidad son:

- La construcción industrializada permitiría reducir la generación de residuos totales en 15.422,94 m<sup>3</sup> (-50%),

y el coste de su gestión en 23.851,74 Eur (-65%). La reducción de la generación de residuos de obra también permitiría reducir el transporte de escombros desde la obra hasta los vertederos.

- La industrialización permitiría reducir 347,28 m<sup>3</sup> de consumo de recursos hídricos. Esta cifra representa un 30% de ahorro en el consumo de agua respecto a la construcción tradicional. De esta forma, el consumo de agua pasaría de 0,095 m<sup>3</sup> a 0,066 m<sup>3</sup> por cada metro cuadrado construido.
- El uso de sistemas de construcción industrializada permitiría contribuir de una forma importante a la reducción de las emisiones de efecto invernadero, según los expertos consultados. En primer lugar, por la posibilidad de utilizar materiales innovadores con menos emisiones incorporadas. Y en segundo lugar, debido a la mejora de la eficiencia energética de los edificios derivada del uso de soluciones innovadoras de aislamiento térmico y ventilación eficiente. Aun así, no hemos podido cuantificar la reducción de emisiones de efecto invernadero debido a la falta de información y datos en el proyecto constructivo analizado.

Para ayudar a completar la recogida de información y datos para cuantificar los aspectos de sostenibilidad, sobre todo en el ámbito social, se propone una lista de indicadores que se incluyen en la tabla siguiente:

Ámbitos	Indicadores
<b>Generación y reciclaje de residuos</b>	- % de residuos recuperados sobre el total de residuos generados
<b>Emisiones de gases de efecto invernadero</b>	- Toneladas métricas equivalentes de CO <sub>2</sub> generadas durante el proceso de construcción. - Toneladas métricas equivalentes de CO <sub>2</sub> emitidas por cada € de ingresos netos o m <sup>2</sup> construido.
<b>Consumo y gestión de energía</b>	- Consumo de energía total (MWh de energía consumida) - Consumo de energía de fuentes renovables (MWh de energía consumida)
<b>Salud y seguridad</b>	- Número de incidentes asociados con accidentes o enfermedades laborales (mensuales, anuales, etc.). - Tiempo perdido por lesiones relacionadas con el trabajo, enfermedades, etc. (Porcentaje de tiempo perdido sobre tiempo total de trabajo).
<b>Diversidad, igualdad de oportunidades y formación</b>	- Número de incidentes asociados con accidentes o enfermedades laborales (mensuales, anuales, etc.). - Tiempo perdido por lesiones relacionadas con el trabajo, enfermedades, etc. (Porcentaje de tiempo perdido sobre tiempo total de trabajo).
<b>Contaminación acústica, calidad del aire, y otros impactos en el entorno de la obra</b>	- Nivel de contaminación acústica alrededor de la obra. - Concentración de partículas contaminantes alrededor de la obra. - Número de movimientos de vehículos vinculados a la obra.

Con base en los resultados obtenidos y a los principales retos de la aplicación de los sistemas de construcción industrializada en la construcción de edificios de viviendas, se proponen varias recomendaciones que podrían servir para aumentar el uso de este tipo de sistemas de construcción innovadores:

#### a. Adaptar los sistemas de financiación.

Es necesario adaptar este sistema de financiación a la naturaleza de la construcción industrializada, en la que una gran parte del proceso se realiza en una fábrica antes de su colocación a la obra, lo cual complica la validación de los adelantos por parte de las entidades financieras y organismos de acreditación.

#### b. Simplificar los procesos administrativos.

Para facilitar la aplicación de sistemas de construcción industrializada es necesario mejorar los sistemas de certificación de los componentes prefabricados, y simplificar los procesos administrativos para que las empresas de promoción tengan más incentivos para utilizar este tipo de soluciones. Un posible incentivo sería la reducción de las tasas derivadas de las licencias de obra en proyectos constructivos a partir de un determinado grado de industrialización.

#### c. Introducir una puntuación adicional para las empresas promotoras que apliquen soluciones de construcción industrializada en concursos de vivienda asequible promovida por el sector público.

Los resultados obtenidos demuestran que la construcción industrializada permite reducir considerablemente los plazos de construcción y entrega de proyectos de construcción de viviendas. Esta es una ventaja muy importante si tenemos en cuenta que existe una necesidad de oferta de vivienda nueva a precios asequibles, y que las administraciones públicas están haciendo un esfuerzo muy importante para construir vivienda nueva para colectivos desfavorecidos en régimen de alquiler asequible. Por estos motivos, sería necesario que las administraciones públicas añadan cláusulas en las licitaciones de obras que obliguen, o incentiven, a las empresas promotoras a aplicar sistemas de soluciones de construcción industrializada.

#### d. Mejorar los sistemas de recogida de información y datos relacionados con los ámbitos medioambiental y social.

Un desafío muy importante que enfrenta el sector constructor consiste en medir los aspectos críticos de los proyectos de edificación vinculados a la sostenibilidad. En este sentido, creemos que sería necesario establecer una lista reducida de indicadores

que se tuvieran que incluir en la memoria técnica del proyecto de edificación, y que hicieran referencia a los aspectos críticos en materia de sostenibilidad. Estos indicadores se podrían extraer de la tabla que hemos incluido en el apartado de conclusiones, y otros marcos de referencia incluidos en el estudio “Cuadro de Mando Integral Sostenible por el sector inmobiliario”, realizado por Bastida y Verdugo (2023).

**e. Mejorar la estandarización de los edificios para incrementar la repetibilidad en el diseño y fabricación de los módulos y otros componentes del edificio.**

Varios expertos entrevistados coinciden en señalar que aumentar el volumen de pedidos de cada uno de los componentes prefabricados es un factor clave para que las empresas de construcción industrializada inviertan en nuevas tecnologías orientadas a conseguir que estos tipos de sistemas de construcción sean menos costosos y más eficientes. Para conseguirlo es importante que las empresas de promoción y los despachos de arquitectos dispongan de programas de software y de inventarios de componentes prefabricados que puedan utilizar en sus proyectos de construcción de edificios.

**f. Introducir incentivos fiscales por proyectos constructivos que utilicen sistemas de construcción industrializada.**

La introducción de incentivos fiscales para los proyectos que utilicen sistemas de construcción

industrializada es clave para acelerar la transición hacia un sector más eficiente y sostenible. Estos incentivos, aplicados a tasas e impuestos, como las tasas de licencias de obra o la AJD, pueden fomentar la inversión en tecnologías innovadoras, reducir costes para los promotores, e incentivar prácticas constructivas con menor impacto ambiental. Además, contribuirían a mejorar la productividad, reducir los plazos de ejecución y potenciar la industrialización como herramienta para abordar el déficit de vivienda de manera más rápida y eficiente.

**g. Creación de HUBs especializados en construcción industrializada.**

La optimización del sistema de construcción industrializada se logrará, con el tiempo, mediante HUBs de industrialización cercanos a los grandes centros de producción de viviendas, donde exista una demanda suficientemente continua. Posiblemente, cerca de las grandes ciudades. Esto permitirá una sustancial reducción de costes, al disponer de un número importante de los proveedores industriales, de forma cercana. Esto, como en otros sectores (automóvil, farmacéutico, etc.), permitirá optimizar la eficiencia económica y medioambiental (logística, coordinación, stocks, etc.).



---

# 1. Introducción

## 1.1. Contexto y retos del sector de la construcción

El sector de la construcción se encuentra actualmente inmerso en un proceso de transformación. La industrialización de toda la cadena de valor, la digitalización de procesos, y la sostenibilidad son las principales tendencias protagonistas de esta transformación, que afecta a los modelos de negocio vigentes hasta ahora e implica un cambio de paradigma en el sector.

Este nuevo paradigma viene inducido por varios factores: la escasez de mano de obra suficiente para cubrir los puestos de trabajo, la introducción de criterios de sostenibilidad, las innovaciones tecnológicas disponibles, o la necesidad de mejorar la productividad para mantener la viabilidad del sector y satisfacer la demanda de construcción.

El sector de la construcción representa el 4,5% del PIB de Cataluña y el 5,4% del PIB en el caso de España<sup>2</sup>. Sin embargo, su impacto va más allá de su peso en la estructura macroeconómica, ya que desempeña un papel clave en la satisfacción de una necesidad esencial para el desarrollo social y económico, además de generar un impacto medioambiental significativo. Según datos de la Comisión Europea, el sector de la construcción es responsable del 35% de generación de residuos de la UE y de entre el 5-12% de la emisión de gases de efecto invernadero.

El comportamiento cíclico del sector de la construcción ha ido aplazando las transformaciones que han tenido lugar en el resto de sectores. La industria de la construcción solo ha registrado un incremento de la productividad del 10% en dos décadas (2000-2022), a diferencia de la mejora del 50% de la productividad de la economía en general y del 90% del sector manufacturero en particular en el mismo periodo (McKinsey & Company, 2024).

Esta evolución del sector de la construcción, junto con la convergencia de varios factores, ha hecho inaplazable una transformación que ya ha empezado y que tiene la industrialización de la construcción como principal exponente.

La industrialización de la construcción se refiere a un modelo organizativo basado principalmente en la construcción en fábricas en procesos de carácter industrial y el posterior montaje de los elementos en la obra (Sotorrío Ortega, G. et al., 2023). A menudo también se utiliza el concepto de *prefabricación o construcción offsite* con el mismo propósito.

Esta transformación supone un cambio de paradigma en el sector porque:

- Adopta los principios de la organización industrial,
- Transforma los puestos de trabajo predominantemente artesanales hasta ahora,
- Mejora las condiciones de trabajo del sector (salud, seguridad, etc.) y favorece la incorporación de mujeres,
- Favorece el control y la estandarización del nivel de calidad,
- Solapa diferentes actividades del proceso de construcción y reduce su duración,
- Promueve la introducción de productos con menor impacto ambiental,
- Reduce los residuos que genera la construcción, y
- Tiene lugar mayoritariamente en una fábrica y no en la obra.

Este cambio de paradigma está produciendo una evolución de la cadena de valor fruto del rol central que tienen las nuevas plantas industriales que fabrican los elementos de la edificación y que aportan una parte importante del valor añadido de la cadena.

Todas estas transformaciones productivas del sector se materializan necesariamente en cambios en:

- La estructura de costes de los proyectos de edificios construidos con métodos de construcción industrializada comparados con aquellos basados en la construcción tradicional.
- Los impactos que generan los proyectos de construcción industrializados en el medio ambiente y en la sociedad.

---

<sup>2</sup> Datos del Departamento de Economía y Finanzas. Estructura del PIB (2022).

El análisis comparativo de costes e impactos es estratégico para dotar de conocimiento al sector en la evolución hacia la industrialización. Se trata de un campo poco explorado hasta ahora que actúa de freno en la adopción de la innovación por parte de las empresas del sector, especialmente por la ausencia de un análisis comparativo capaz de integrar todos los elementos y valorizar económicamente todos los aspectos.

## 1.2. Objetivos del estudio

El objetivo del estudio es realizar una comparativa rigurosa e integral sobre los efectos económicos y de sostenibilidad de un proyecto de edificación, considerando diferentes grados de industrialización en comparación con los sistemas de construcción convencional o tradicional.

El análisis de la dimensión económica consiste en la cuantificación de las ventajas que aporta el uso de construcción industrializada. Hay que tener en cuenta que ya hay empresas que han presupuestado una misma obra con un sistema tradicional y con un sistema industrializado, pero se observa que típicamente la comparativa se centra en los costes directos sin valorizar correctamente las ventajas y la repercusión sobre los costes indirectos.

El estudio de la dimensión de la sostenibilidad se centra en analizar los efectos del uso de sistemas de construcción industrializada en los ámbitos medioambiental y social. Las actividades relacionadas con la construcción de edificios, y su cadena de valor, tienen un impacto significativo en varios ámbitos relacionados con el medio ambiente, como son las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos naturales, o la gestión de residuos de obra, entre otros. También tienen un impacto significativo en varios ámbitos relacionados con los trabajadores, o las comunidades donde se realizan las obras, como por ejemplo la salud y seguridad de los trabajadores, la diversidad de género y la inclusión, o molestias que generan las obras en el entorno más próximo, entre otros.

Las principales preguntas que plantea el estudio son:

- ¿Qué ahorro de costes se genera con la industrialización en términos de mano de obra, gestión de residuos, costes de post-venta, costes de limpieza, permisos de ocupación de la vía, etc.?
- ¿Qué impacto tiene la construcción industrializada en las diferentes dimensiones clave de la sostenibilidad en el sector de la construcción (emisiones de CO<sub>2</sub>, consumo de recursos naturales, generación de residuos, salud y bienestar de los trabajadores, etc.)?

- ¿Cómo se pueden cuantificar estos impactos sobre las dimensiones de la sostenibilidad y asignarles un valor económico?

## 1.3. Metodología

Para la realización del estudio, se han llevado a cabo las siguientes acciones:

- Revisión bibliográfica sobre los efectos de la construcción industrializada en la estructura de costes y la sostenibilidad de los edificios.
- Entrevistas semi-estructuradas con empresas de construcción y otras empresas y profesionales de la cadena de valor, con experiencia en el uso de sistemas industrializados.
- Análisis de los efectos de la construcción industrializada en un caso de estudio:
  - Análisis de la estructura típica de costes de una obra.
  - Identificación de proyectos de uso de construcción industrializada que sirvan de referencia para la realización del análisis.
  - Análisis de los factores clave de sostenibilidad del sector de la construcción.
  - Análisis económico del uso de los principales sistemas de industrialización en un proyecto.



## 2. La construcción tradicional vista desde una perspectiva económica, medioambiental y social

La estructura de costes de los proyectos de edificación que utilizan métodos constructivos tradicionales está bastante estudiada, de manera, que la mayoría de proyectos siguen un modelo de costes estándares. En cambio, el estudio de los impactos medioambientales y sociales de la construcción de edificios se encuentra en una fase mucho más incipiente, pero que se está desarrollando muy rápidamente debido a las obligaciones de cumplimiento de la nueva regulación medioambiental y social, o de la concienciación de empresas y particulares, entre otros.

A continuación, se describe la estructura de costes de los proyectos de construcción desarrollados con métodos constructivos tradicionales, y los impactos medioambientales y sociales derivados de este tipo de proyectos.

### 2.1. Estructura de costes económicos

#### 2.1.1. El Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

El concepto de presupuesto de ejecución material (PEM) hace referencia a un documento donde se detallan los costes directos de un proyecto de construcción. Gracias a esta herramienta se establece un estimado de los recursos económicos que se requerirán para la ejecución de un proyecto.

La naturaleza de los costes directos que forman parte del PEM son los siguientes:

- Materiales de construcción: se detallan los materiales que se necesitan, las especificaciones técnicas y cantidades estimadas.
- Mano de obra: incluye la estimación de los costes de mano de obra necesaria para la ejecución de la obra.

- Maquinaria y equipos: costes relacionados con la adquisición o el alquiler de maquinaria y equipos necesarios para el proyecto.

Además de estas partidas de costes directos, el PEM también incluye costes indirectos derivados de la ejecución de la obra que no son asignables directamente a una unidad de obra. Algunos ejemplos de estos costes indirectos son: casetas de obra, almacenes, grúas y camiones, personal técnico de obra (jefe de obra, encargado, vigilante, etc.), instalaciones provisionales, o controles de calidad, entre otros.

El PEM de una edificación se divide en capítulos que agrupan las diferentes partidas necesarias para la ejecución de la obra. A pesar de que la clasificación puede variar ligeramente según el país, la normativa, o el estándar utilizado (por ejemplo, CTE en España o códigos internacionales como CSI MasterFormat), la estructura básica de capítulos en un proyecto típico de edificación incluye:

- Preparación del terreno y movimientos de tierra: limpieza del terreno, demoliciones y desmontajes, excavaciones, vaciados, rellenados y compactaciones, y fundamentaciones y estructuras.
- Fundamentación superficial (zapatos, losas) o profunda (pilotos, micropilotos): muros de contención, estructuras de hormigón armado, acero, madera, forjados y vigas, trabajos de paleta y cierres.
- Tabiques y divisiones interiores: fachadas (ladrillo, paneles, etc.), aislamientos térmicos y acústicos.
- Cubiertas: impermeabilizaciones, aislamientos de cubierta, acabados (tejas, chapas, grava, etc.).
- Revestimientos: enlucidos y revestimientos, enladrillados, falsos techos.
- Carpinterías y cerrajerías: carpintería exterior (ventanas, puertas, persianas), carpintería interior (puertas, armarios, molduras), cerrajería (barandillas, rejas, elementos metálicos).
- Instalaciones: fontanería, electricidad, climatización, ventilación, telecomunicaciones, ascensores y montacargas.
- Acabados y decoración: pintura, papeles pintados, revestimientos decorativos, elementos decorativos.
- Control de calidad y seguridad: ensayos de materiales, medidas de seguridad (protecciones colectivas e individuales).

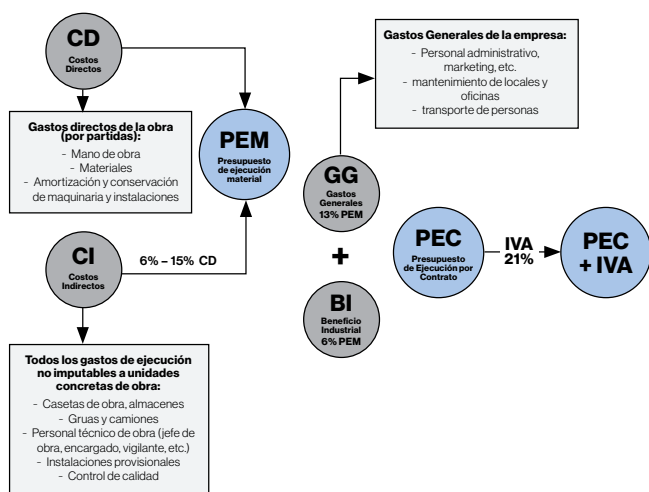
## 2.1.2. El Presupuesto de Ejecución de Contrato (PEC) o Coste de construcción

Si al PEM le añadimos los gastos generales y el beneficio del contratista (conceptos que configuran el “margen del contratista”), se obtiene el Presupuesto de Ejecución de Contrato (PEC) o Coste de construcción.

Los gastos generales incluyen los otros costes indirectos de estructura del contratista. Entre estos costes destacan: el personal administrativo, de marketing y del resto de servicios centrales de la empresa, el mantenimiento de locales y oficinas de la empresa, y el transporte de personas, entre otros.

Los gastos generales y el beneficio del contratista representan aproximadamente un 20% del PEM.

Figura 1. Estructura de costes de un proyecto de construcción



Fuente: El precio de la vivienda, el coste de construcción y el valor del suelo. ITeC (2022).

## 2.1.3. Coste final del edificio

El coste final del edificio incluye el PEC o Coste de construcción y los gastos de promoción. Este tipo de gastos van a cargo de la empresa promotora e incluyen los gastos siguientes:

- Los honorarios de los profesionales que intervienen en el proyecto (arquitectos, dirección y control de la obra, aparejador, y otros técnicos),
- Las tasas e impuestos que gravan la construcción (licencia de obras, impuesto de construcciones, etc.), y
- Los costes del estudio de seguridad y salud, entre otros.

Figura 2. Estimación de gastos de promoción

Concepto	Vsuelo		PEM		Vi	
	% min	%max	% min	%max	% min	%max
Honorarios arquitecto, proyecto y dirección			5,40	15,60		
Honorarios aparejador dirección de obra			1,90	5,50		
Otros honorarios téc. (telecom, geotécnico...)			1,00	1,50		
Control técnico de obras			0,50	1,00		
Tasas (licencia de obras, cierres, grúas...)			1,00	5,00		
ICIO			2,00	4,00		
Seguridad y salud			1,50	2,00		
Acometidas de obra			1,00	2,50		
Seguros			1,00	2,00		
Gastos jurídicos (notario, registro...)	0,03	0,60	0,50	1,50		
Gastos financieros (del 80% Vi vivienda)	depende		3,00	8,00		
Comercialización					1,00	3,00
	depende		18,80	48,60	1,00	3,00
Paso de Cc a PEM (dividimos PEM por 1,20)			1,20	1,20		
<b>Porcentaje sobre Cc</b>			<b>15,67</b>	<b>40,50</b>		

Fuente: El precio de la vivienda, el coste de construcción y el valor del suelo. ITeC (2022).

Si desglosamos los conceptos que conforman los gastos de la promoción de la tabla anterior, observamos que la mayoría son un porcentaje variable sobre el presupuesto de ejecución material (PEM). Es decir, los gastos de promoción pueden oscilar aproximadamente entre un 18,8% y un 48,6% del PEM. Si los porcentajes, dependientes del PEM, los referimos al coste de construcción (Cc), dividiéndolos por 1,20, obtenemos un abanico que va del 15,67% al 40,5%. Si acotamos la banda central de los porcentajes obtenidos, podemos generalizar que los gastos de promoción son aproximadamente entre un 25 y un 30% del coste de la construcción.

## 2.1.4. Cuadro resumen de costes

A continuación, se incluye un cuadro resumen de los costes por metro cuadrado en relación al PEM, PEC o coste de construcción, y el coste final. Por cada uno de ellos, se incluyen tres alternativas de calidad de los materiales de construcción utilizados (sencilla, normal y alta).

Como se puede observar en la figura anterior, el coste de construcción por metro cuadrado en el PEM es de entre 655 y 916 Euros cuando se utilizan materiales

de construcción normales. Este coste aumenta aproximadamente un 20% en el PEC o coste de construcción, y el coste pasa a ser de entre 786 y 1.099 Euros. El coste final es de entre 876 y 1.225 Euros, el cual supone un aumento de un 11,5% respecto al PEC.

Otro aspecto que no se ha tenido en cuenta en el cuadro pero que puede hacer variar los costes de construcción es la ubicación de la obra.

Figura 3. Cuadro comparativo de costes de construcción

Fuente	Pres. ejecución material			Coste construcción			Coste final		
	Sencilla	Normal	Alta	Sencilla	Normal	Alta	Sencilla	Normal	Alta
Constru (3)	642,89	713,18	805,48	771,47	855,82	966,58	860,19	954,23	1.077,73
B.E.C.	-	-	-	889,28 909,66	1183,96	1.684,68	991,55 1.014,27	1.320,12	1.878,42
Emedos 75m <sup>2</sup>	626,39	655,33	784,83	751,67	786,40	941,80	838,11	876,83	1.050,10
Emedos 105m <sup>2</sup>	663,62	799,41	864,32	796,34	959,29	1.037,18	887,92	1.069,61	1.156,46
Emedos 210m <sup>2</sup>	-	916,05	1.014,71	-	1.099,26	1.217,65	-	1.225,67	1.357,68
COAC	654,08	817,60	981,12	784,90	981,12	1.177,34	875,16	1.093,95	1.312,74
ITeC	-	719,04	-	-	855,65	-	-	954,05	-
Catastro Norma 20 MBC-1	-	-	-	490,00 350,00	805,00 700,00 630,00	1.120,00 945,00	490,00 350,00	805,00 700,00 630,00	1.120,00 945,00
Catastro Norma 20 MBC-2	-	-	-	455,00 325,00	747,50 650,00 585,00	1.040,00 877,50	455,00 325,00	747,50 650,00 585,00	1.040,00 877,50

Fuente: El precio de la vivienda, el coste de construcción y el valor del suelo. ITeC (2022).



## 2.2 Impactos medioambientales y sociales derivados de los proyectos de construcción tradicional

En la actualidad, existe un número importante de estudios que analizan los impactos de los proyectos de construcción de edificios sobre el medio ambiente y la sociedad. En el estudio sobre el cuadro de mando integral sostenible para el sector inmobiliario, Bastida y Verdugo (2023) describen los factores clave de sostenibilidad para las empresas de construcción, con base en los estándares internacionales de información de sostenibilidad (GRI y SASB), y en las certificaciones internacionales de sostenibilidad de edificios (BREEAM, LEED y DGNB).

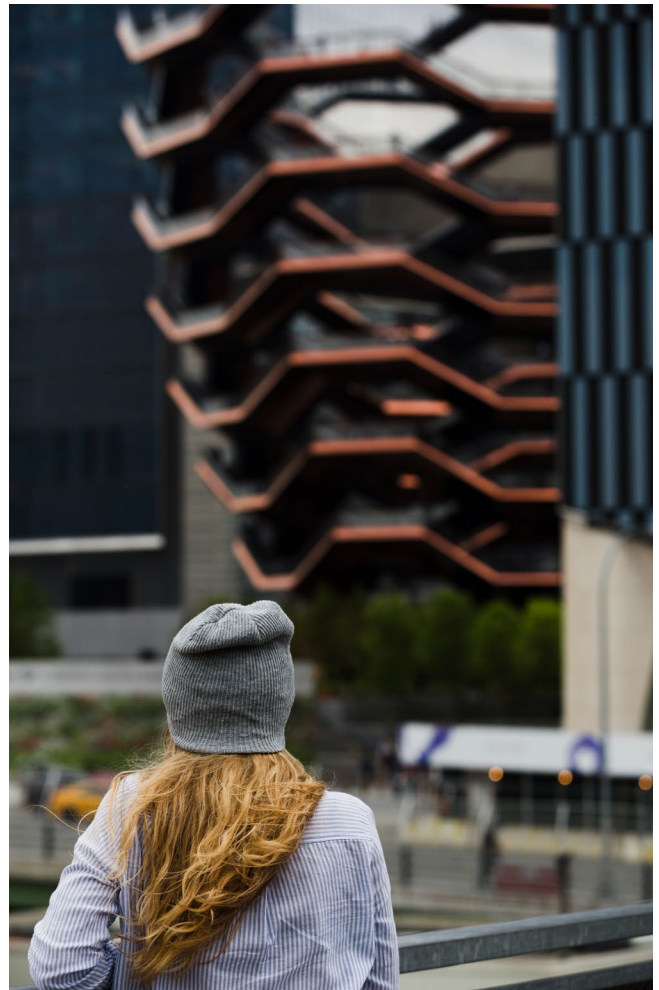
A continuación, se incluyen dos cuadros que sintetizan los factores de sostenibilidad materiales para las empresas del sector inmobiliario:

Figura 4. Síntesis de los factores clave para el sector inmobiliario

Dimensiones	Factores	GRI G4	SASB
<b>Medioambiental</b>	Materiales utilizados y reciclados	✓	✓
	Consumo y gestión energética	✓	✓
	Consumo y gestión de agua	✓	✓
	Degradación del suelo e impactos en la biodiversidad	✓	✓
	Emisiones de gases de efecto invernadero	✓	✓
	Gestión de efluentes y residuos	✓	✓
	Mitigación de impactos medioambientales mediante productos y servicios	✓	X
	Impactos derivados del transporte	✓	X
	Adaptación al cambio climático	X	✓
<b>Social</b>	Condiciones laborales	✓	X
	Salud y seguridad laboral	✓	✓
	Formación	✓	X
	Diversidad e igualdad de oportunidades	✓	X
	Brecha salarial de género	✓	X
	Derechos humanos (no discriminación, trabajos forzados, etc.)	✓	X
	Colaboración e impactos en las comunidades locales	✓	✓
<b>Gobernanza</b>	Impactos del producto en los clientes y usuarios	✓	X
	Información transparente y gestión de conflictos de interés	X	✓

Dimensiones	Factores	BREEAM	LED	DGNB
<b>Medioambiental</b>	Consumo de energía eficiente	✓	✓	✓
	Reducción del consumo de agua	✓	✓	✓
	Gestión y reciclaje de residuos	✓	✓	✓
	Uso de materiales eficientes	✓	✓	✓
	Uso del suelo e impacto en la biodiversidad	✓	✓	✓
	Reducción de la contaminación	✓	✓	✓
	Conexiones de transporte y movilidad sostenible	✓	✓	✓
<b>Social</b>	Salud y bienestar de los residentes	✓	✓	✓
<b>Gobernanza</b>	Gestión sostenible	✓	X	✓
	Innovación (diseño y operaciones)	✓	✓	X

Fuente: Cuadro de mando integral sostenible para el sector inmobiliario (Bastida y Verdugo, 2023)



---

En línea con estos factores clave de sostenibilidad anteriores, el artículo “*A framework for assessing sustainability of construction projects*”, de Salah, Elmasry y Amer (2023), define un marco para analizar la sostenibilidad en los proyectos de construcción. El informe “*Methodology for quantifying the benefits of offsite construction*”, elaborado por la Universidad de Cambridge (2020), también identifica las principales áreas de impacto de la construcción industrializada.

En los apartados siguientes, se describen estos factores clave de sostenibilidad identificados en la literatura, que conforman la base teórica para el análisis del impacto medioambiental y social de los proyectos de construcción.

### 2.2.1. Factores medioambientales

En el ámbito medioambiental, se han identificado los siguientes factores clave:

#### a. Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero

El sector de la construcción es uno de los principales consumidores de energía y generadores de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, a causa del uso intensivo de materiales y maquinaria durante las fases de construcción, así como del consumo energético de los edificios a lo largo de su ciclo de vida. La producción de materiales como cemento y acero es altamente intensiva en energía, emitiendo grandes volúmenes de dióxido de carbono. Uno de los mayores retos de la industria de la construcción es la extracción, la fabricación y el transporte de materiales como el hormigón y el acero, puesto que son prácticas muy ligadas a los combustibles fósiles y esto dificulta enormemente el logro del objetivo de la UE de reducción de los equivalentes de CO<sub>2</sub> (De Wolf et al., 2017).

#### b. Gestión y reciclaje de residuos

La generación de residuos durante las fases de construcción, renovación y demolición representa un reto crítico para el sector. Una gestión adecuada que priorice la reducción, reutilización y reciclaje de materiales puede disminuir el impacto ambiental y favorecer un uso más eficiente de los recursos disponibles, alineado con los principios de la economía circular.

Los residuos de construcción y demolición constituyen uno de los mayores flujos de residuos a nivel mundial. A pesar de su alto potencial de reciclaje, una proporción significativa acaba en la basura, aumentando la presión ambiental.

#### c. Consumo y gestión de los recursos hídricos

La construcción consume grandes volúmenes de agua tanto durante el proceso de construcción como en el uso y mantenimiento de los edificios. Además, el consumo intensivo de agua en la fabricación de materiales como el hormigón puede incrementar todavía más la huella hídrica de este sector.

Es fundamental optimizar el uso de este recurso mediante tecnologías de ahorro de agua, gestión de las aguas residuales y prácticas de construcción adaptadas a la escasez hídrica, especialmente en regiones vulnerables.

Además, las actividades de construcción pueden liberar sedimentos, óleos y productos químicos al agua, alterando su calidad y afectando a la vida acuática.

#### d. Uso y reciclaje de materiales

La construcción consume grandes cantidades de materiales como arena, grava, metales y madera. Su extracción afecta a los ecosistemas, agota recursos no renovables y contribuye a la pérdida de biodiversidad en áreas mineras y forestales.

La selección de materiales tiene un impacto directo en la sostenibilidad del sector de la construcción. Priorizar materiales reciclados, locales y con una huella ambiental reducida, así como fomentar la innovación en materiales ecológicos, ayuda a disminuir el impacto ambiental y a promover un modelo constructivo más sostenible.

#### e. Uso eficiente y protección del suelo y la biodiversidad

La expansión del sector de la construcción a menudo implica la degradación del suelo y la pérdida de hábitats naturales. La adopción de prácticas que preserven el territorio, minimicen la ocupación de suelo y fomenten la reutilización de espacios existentes contribuye a un desarrollo sostenible y armonioso con el entorno.

El sector de la construcción puede tener un efecto profundo en los ecosistemas y la biodiversidad, desde la destrucción de hábitats hasta la fragmentación del territorio. Integrar la gestión de la biodiversidad en los proyectos, mediante planes de restauración ecológica y medidas de protección de los ecosistemas locales, es clave para garantizar un equilibrio entre el desarrollo y la conservación del medio natural.

#### f. Políticas de gestión medioambiental

La implementación de políticas medioambientales rigurosas en el sector de la construcción permite reducir el impacto ambiental de las actividades constructivas. Esto incluye el cumplimiento de normativas, la incorporación de prácticas sostenibles y

---

la promoción de estrategias de construcción ecológica que protejan el entorno natural y mejoren la calidad de vida.

### **2.2.2. Factores sociales**

En el ámbito social, se han identificado los siguientes factores clave:

#### **a. Salud y seguridad laboral**

Los trabajadores de la construcción están expuestos a varios riesgos físicos, como caídas desde las alturas, accidentes con maquinaria pesada, lesiones derivadas de protocolos de seguridad insuficientes, o una climatología adversa, entre otros. Además, la exposición prolongada a sustancias peligrosas como el polvo de sílice o las partículas de cemento puede provocar dolencias crónicas. A la vez, la naturaleza exigente del trabajo, con plazos ajustados y alta intensidad física, puede generar estrés, ansiedad y desgaste emocional.

#### **b. Creación de puestos de trabajo y condiciones laborales**

El sector de la construcción es un motor significativo de creación de empleo, especialmente en proyectos de infraestructura y vivienda. Garantizar condiciones de trabajo estables y la promoción de empleo cualificado contribuye al desarrollo económico y al bienestar de las comunidades donde opera el sector.

El proceso de construcción a menudo pone de manifiesto desigualdades en la participación laboral y falta de mano de obra. Las mujeres, las minorías y otros grupos marginados acostumbra a estar infrarrepresentados en el sector, perpetuando las desigualdades sociales. Además, existe una manifiesta carencia de mano de obra especializada y no especializada para trabajar en el sector de la construcción. Cuando se prioriza la contratación de mano de obra local y la creación de un entorno inclusivo, se pueden generar beneficios económicos significativos para las comunidades y también se contribuye a evitar la falta de mano de obra dispuesta a trabajar en obras tradicionales. Al contrario, la falta de inclusión puede profundizar las divisiones sociales y limitar los impactos positivos de los proyectos.

#### **c. Formación de los trabajadores**

La formación continua de los trabajadores es clave para garantizar la calidad y seguridad de las operaciones en el sector de la construcción. Desarrollar habilidades técnicas, conocimientos sobre normativas y competencias en nuevas tecnologías favorece la

eficiencia y la sostenibilidad, a la vez que mejora las oportunidades profesionales.

#### **d. Protección de los derechos humanos**

La protección de los derechos humanos en la construcción implica garantizar condiciones laborales dignas, la no discriminación y el respeto por la diversidad. Las empresas tienen que asegurar el cumplimiento de las normas internacionales para evitar la explotación laboral y promover una cultura corporativa ética y justa.

#### **e. Construcción libre de barreras**

Promover una construcción libre de barreras significa diseñar edificios e infraestructuras accesibles para todas las personas, incluyendo aquellas con discapacidad. Este enfoque fomenta la inclusión social y garantiza el derecho a una movilidad universal, cumpliendo con las normativas de accesibilidad.

#### **f. Contaminación acústica**

Las actividades constructivas a menudo generan niveles elevados de ruido, con un impacto negativo sobre la salud y el bienestar de las personas, especialmente en entornos urbanos densamente poblados. Durante la construcción, el uso de maquinaria pesada genera niveles altos de ruido que afectan las comunidades próximas.

Adoptar medidas para reducir la contaminación acústica, como el uso de equipación más silenciosa y la planificación adecuada de los horarios de trabajo, es esencial para mitigar este problema.

#### **g. Comunicación y transparencia con los usuarios y las comunidades afectadas**

La comunicación clara y proactiva con las comunidades afectadas es fundamental para el éxito de un proyecto de construcción. La carencia de transparencia sobre los horarios, las interrupciones o las compensaciones por daños puede erosionar la confianza y generar resistencia o protestas. Cuando las actividades de construcción perjudican propiedades próximas o alteran la vida cotidiana, es crucial ofrecer respuestas rápidas y soluciones adecuadas para mantener buenas relaciones con los vecinos.

# 3. Nuevos sistemas constructivos: Construcción industrializada

## 3.1. Definición y conceptos clave

La construcción industrializada se puede definir como un modelo organizativo que utiliza una serie de innovaciones, la mayoría de ellas basadas en tecnologías de construcción en fábricas que permiten construir edificios de manera más rápida, económica y eficiente (Sotorrio Ortega, G. te altri, 2023).

Este modelo contempla la separación de la obra en dos fases: la producción de los elementos que integran una obra en una fábrica, y la fase de traslado al lugar de construcción donde se lleva a cabo el ensamblaje y montaje.

Los principios en que se fundamenta la construcción industrializada son:

- el uso de componentes prefabricados con un alto grado de definición que después se ensamblan en la obra,
- la estandarización de componentes,
- la optimización del proceso constructivo, y
- el uso de tecnologías como el BIM (*Building Information Modelling*), que permiten la maquetación digital del proyecto, integrando toda la información necesaria para su construcción.

Se trata de un modelo contrapuesto al modelo de construcción tradicional, basado este último en la ejecución de la mayoría de actividades en el sitio de obra de manera secuencial, y mayoritariamente con un alto grado de artesanía en procesos intensivos en mano de obra.

Este modelo de construcción puede recibir varias denominaciones, las más comunes son: construcción industrializada, prefabricación y *offsite construction*. Aun así, a menudo se emplea el concepto "industrialización de la construcción" como proceso que se lleva a cabo de manera gradual, y que supone ir introduciendo en el sector de la construcción conceptos propios de la organización industrial. Esta gradualidad implica la aplicación de la industrialización de manera parcial solo en algunas fases

del proceso, como por ejemplo la estructura, la fachada, o los lavabos.

La construcción industrializada implica la aplicación de nuevos sistemas constructivos dentro de las diversas soluciones tecnológicas disponibles. En el caso de las soluciones estructurales, pueden incluir prefabricados de hormigón, paneles de madera, acero o sistemas híbridos.

La aplicación de la construcción industrializada como nuevo sistema constructivo no se limita al mero traslado de actividades hasta entonces llevadas a cabo en la obra hacia un lugar en torno a fábrica, sino que supone un cambio de paradigma del conjunto del sector y de la concepción de las obras desde la fase inicial de diseño.

La evolución hacia métodos modernos de construcción tiene impactos en distintos ámbitos clave del sector. Entre ellos se encuentran la reducción de la mano de obra necesaria debido a la automatización, la mejora de la productividad gracias a la optimización de procesos, la disminución del impacto ambiental mediante la reducción de residuos y del consumo de materiales, y la mejora de las condiciones laborales como resultado del traslado de actividades a entornos de fábrica. Estos y otros aspectos se analizan en profundidad en los siguientes apartados de este estudio.

## 3.2. Sistemas o soluciones de construcción industrializada

La construcción industrializada se fundamenta en la fabricación de los componentes de una obra en una fábrica. Como se ha dicho anteriormente, una obra puede tener varios grados de industrialización según los componentes que se prefabriquen y aquellos que se sigan haciendo en obra. Hay varios sistemas y tecnologías para la construcción industrializada. Estos sistemas se denominan métodos modernos de construcción. Estos métodos se pueden agrupar en las siguientes categorías según la funcionalidad de los componentes y el sistema de construcción industrializada (Ministry of Housing, Communities & Local Government of the UK Government, 2019) (OCH - Asociación Española de Construcción Industrializada, 2023):

- **Módulos estructurales 3D:** se refiere a aquellos sistemas basados en la fabricación de unidades volumétricas tridimensionales. Se conocen también como construcción modular. Estos módulos pueden incluir desde estructuras básicas hasta módulos completos, listos para ser instalados directamente en la obra.

- **Componentes estructurales 2D:** se refiere a elementos planos, como muros, techos o fachadas, que se fabrican fuera del lugar de obra y se transportan para ser montados. Estos componentes tienen capacidad estructural y su ensamblaje en la obra genera estructuras tridimensionales. Los paneles 2D pueden tener una elevada definición e incluir aislamientos, cierres, y acabados interiores o exteriores.
- **Prefabricación de componentes primarios estructurales:** incluye componentes lineales individuales como vigas, columnas, y otros elementos estructurales que no forman un sistema completo, pero que se complementan con otros elementos estructurales en el sitio de obra.
- **Componentes prefabricados no estructurales:** componentes que no forman parte de la estructura principal del edificio. Pueden ser componentes volumétricos 3D como lavabos, cocinas y equipaciones de instalaciones; o componentes en paneles 2D como fachadas, cubiertas, componentes de distribución de equipaciones, componentes de compartimentación, conjunto de puertas, etc.
- **Productos sustitutivos tradicionales:** materiales y componentes de construcción que, a pesar de no formar parte de un sistema prefabricado integral, han sido diseñados para simplificar y agilizar el proceso de construcción en comparación con los materiales tradicionales (ej. paneles de tiza laminada – *pladur*).
- **Procesos sustitutivos tradicionales:** se trata de métodos innovadores aplicados directamente en obra, como el uso de realidad aumentada, tecnología BIM o maquinaria autónoma para mejorar la eficiencia y precisión de los procesos *in situ*.

### 3.3. Principales diferencias entre la construcción industrializada y la tradicional

El modelo de construcción tradicional se caracteriza por la realización *in situ* de todas las tareas del proceso de construcción. Estas tareas se llevan a cabo de manera artesanal por trabajadores poco especializados en un proceso que mayoritariamente es secuencial. Esto comporta que hay poco solapamiento de actividades y también ciertas tareas que se llevan a cabo de manera redundante sin aportar valor añadido a la construcción. Se estima que las actividades redundantes pueden llegar a suponer el 5% del coste de construcción y que los trabajadores adicionales que requiere una obra fruto de la carencia de optimización del proceso suponen un 16% del

coste de mano de obra. Además, la ejecución de las obras *in situ* requiere una inspección periódica de la evolución del proyecto, lo que puede representar hasta el 1% del coste de construcción. También implica costes asociados a la seguridad y salud laboral, debido a la complejidad de trabajos como el trabajo en altura, los cuales se estima que pueden alcanzar hasta el 6% del coste total de la construcción (Faghirinejadfard, A. et al., 2016).

La construcción tradicional, mayoritariamente manual, tiene un impacto negativo en variables clave como la calidad y la precisión de la obra. Esto puede generar trabajos de rectificación que representen hasta el 5% del coste de construcción, además de la generación de residuos y el gasto en materiales sobrantes, que pueden suponer un 2,5% del coste total. También afecta al cumplimiento de los plazos de ejecución, con posibles recargos por retrasos injustificados en la entrega.

La construcción tradicional comporta una elevada cantidad de desplazamientos tanto de trabajadores a la obra durante los meses de ejecución como de camiones de transporte de materiales, con los correspondientes impactos ambientales, sonoros y de movilidad que tienen asociados.

La construcción industrializada supone un cambio de paradigma que no se limita exclusivamente a una forma de construcción diferente o a la introducción de elementos prefabricados que hasta el momento se producían artesanalmente *in situ*, sino que supone una aproximación diferente al proceso constructivo para optimizarlo. Esto implica un diseño del proyecto centrado en la solución constructiva industrializada que se aplicará, incluyendo todos los detalles en la fase de diseño, de modo que no quede nada por definir en fases posteriores durante la ejecución de la obra. El diseño de un proyecto industrializado se concibe desde la estrategia de *diseño para la fabricación y montaje*, que supone hacer el proyecto arquitectónico pensando en su construcción.

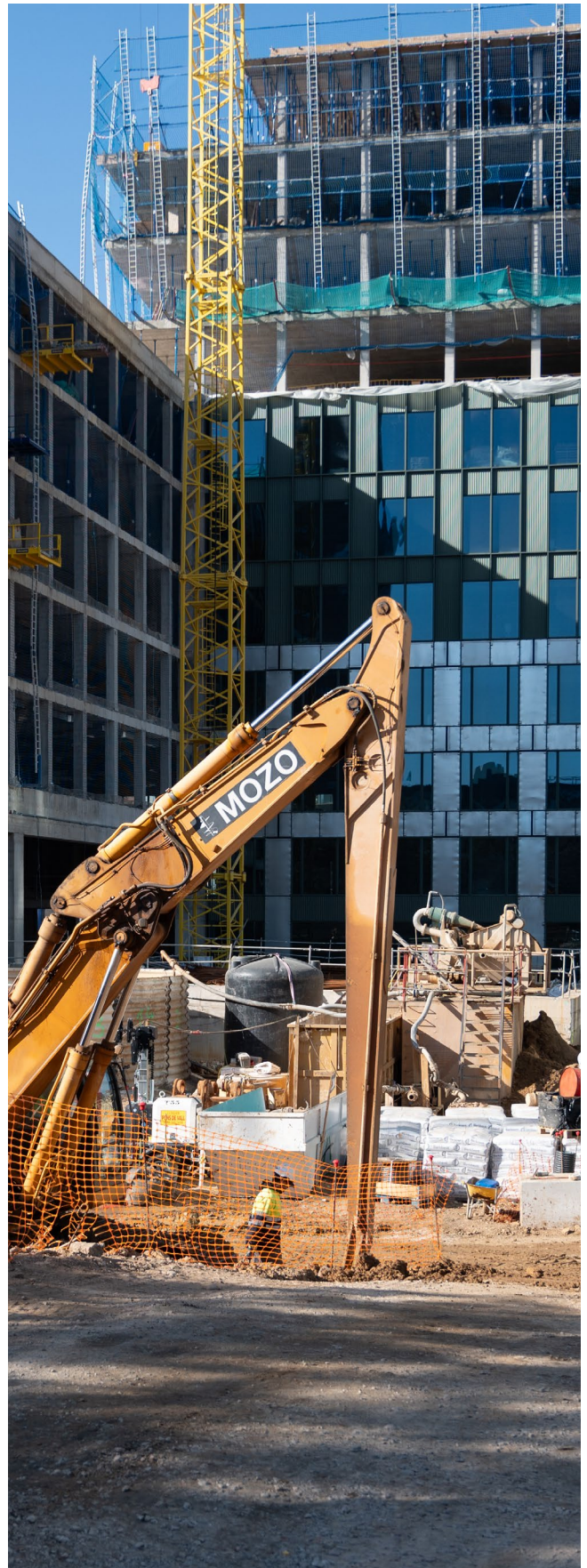
El análisis de las diferencias entre el modelo de construcción tradicional y el de la construcción industrializada requiere una comprensión sobre cuáles son las fases en que generalmente se estructura una obra, que son las siguientes:

1. **Fase de proyecto y planificación:** contempla el estudio de viabilidad y la obtención de permisos, la elaboración del proyecto por parte de los arquitectos e ingenieros encargados, y la contratación de una empresa constructora.

2. **Fase de preparación del terreno:** en esta fase se lleva a cabo el desbroce y limpieza del terreno, la excavación que incluye las tareas para preparar los cimientos, y las instalaciones provisionales como agua, electricidad y seguridad para la fase de construcción.
3. **Fase de fundamentación:** se construyen los cimientos del edificio y la estructura de base.
4. **Fase de estructura:** se construye la estructura vertical como los muros, pilares y las plantas del edificio; la estructura horizontal como las losas y los techos que separan las plantas del edificio; y se instala la cubierta (tejado, estructura metálica, etc.), que puede variar según el diseño arquitectónico.
5. **Fase de instalaciones y acabados:** se realizan las instalaciones de agua, ventilación, energía, telecomunicaciones, etc., así como las tareas de aislamiento térmico y acústico, protección contra la humedad y los acabados interiores como la colocación de tierras, la instalación de carpintería (puertas y ventanas), baños, etc.
6. **Fase de exteriores y urbanización:** se llevan a cabo los acabados exteriores como la fachada y las obras de urbanización del entorno (pavimentación de caminos, jardinería, iluminación...).
7. **Fase de finalización y entrega:** se revisa el cumplimiento de los requisitos del proyecto, la adecuación a la normativa y los estándares de calidad, y se llevan a cabo las obras de finalización que permiten la entrega final de la obra.
8. **Fase de mantenimiento y garantías:** durante los primeros años del ciclo de vida útil del edificio, se corrigen defectos en el marco de las garantías que contempla el marco legal.

Los principales cambios en la fase de proyecto y planificación de una construcción industrializada respecto a la construcción tradicional son la introducción de herramientas como el BIM (*building information modelling*), que es un sistema que actúa de repositorio común del proyecto y donde está detallada toda la información necesaria que requieren todos los agentes de la cadena de valor que intervienen en la construcción del proyecto.

El otro cambio en la fase de proyecto y planificación que también va asociado a la construcción industrializada es



una evolución en el esquema de contratación. Como se ha visto con anterioridad, normalmente la contratación de la constructora es un proceso posterior al diseño por parte del equipo de arquitectura e ingeniería. Esto implica que la empresa constructora recibe un diseño del cual no ha sido partícipe, lo que supone que se generen ineficiencias en el proceso constructivo y desviaciones en los costes presupuestados versus los costes reales de la ejecución. La construcción industrializada implica la evolución hacia el modelo de proyecto integrado (*integrated project delivery*), caracterizado por ser un modelo de contratación colaborativa que integra todas las partes implicadas en un proyecto desde la fase de diseño para optimizar los resultados, mejorar la comunicación y reducir riesgos y costes. Esto supone un cambio radical del esquema vigente de contratación y relación entre los agentes de la cadena de valor implicados en una obra.

El nivel de detalle exigido por la construcción industrializada y el tiempo necesario para definir un proceso constructivo optimizado conllevan un alargamiento de la fase de proyecto y planificación en comparación con la construcción tradicional.

El proceso constructivo de la construcción industrializada se caracteriza por la realización de la mayoría de tareas en fábricas, donde a partir del proyecto se producen con las medidas indicadas de forma automatizada. Cuando los componentes de la obra están fabricados, se trasladan a la obra para su ensamblaje. Este montaje puede requerir una maquinaria diferente por la mayor precisión necesaria, y también una mano de obra diferente de la de una obra tradicional especializada en el montaje. Esto permite una optimización del proceso constructivo a través del solapamiento de varias fases, como la realización de la fase de preparación del terreno y la fase de fundamentación en paralelo con la fase de estructura por medio de la fabricación de los componentes.

En conclusión, la evolución hacia la construcción industrializada supone numerosos cambios con respecto a la construcción tradicional en un amplio abanico de aspectos como la calidad, la precisión, el tiempo, costes, los residuos, la mano de obra, la definición del proyecto, etc.

Las principales diferencias comparativas se muestran en la mesa resumen, junto con indicadores de medida:

Figura 5. Diferencias entre la construcción tradicional e industrializada

Ámbito	Construcción Tradicional	Construcción Industrializada	Principales fases afectadas	Impacto estimado
<b>Proceso constructivo y localización</b>	Mayoritariamente en el sitio de obra, lo que supone una exposición a la meteorología y otros factores de difícil control, y requiere infraestructuras temporales como andamios.	Producción en fábrica ( <i>offsite</i> ), con mayor control de condiciones y menor dependencia de infraestructura temporal.	4. Fase de estructura 5. Fase de instalaciones y acabados	40% del valor total del proyecto es valor añadido onsite
<b>Precisión y control de calidad</b>	Calidad variable dependiendo de la mano de obra y las condiciones ambientales. La precisión es limitada y a menudo requiere correcciones.	Alta precisión y consistencia de calidad gracias a la producción en fábrica, con un mayor control de procesos	4. Fase de estructura 5. Fase de instalaciones y acabados	Reducción de errores hasta el 75%.
<b>Tiempo de ejecución</b>	Secuencial, con retrasos por factores climáticos y logísticos. Proceso generalmente más lento.	Reducción significativa gracias a la producción simultánea en fábrica y obra.	4. Fase de estructura 5. Fase de instalaciones y acabados	Reducción de entre 20%-50% del tiempo de ejecución.
<b>Estructura de costes y presupuesto</b>	Costes iniciales más bajos pero con gran riesgo de desviaciones por factores imprevistos y complejidad en gestión de recursos.	Coste inicial más alto, pero menor dependencia del impacto de la inflación en costes de materiales y menos desviaciones presupuestarias	1. Fase de proyecto y planificación	n.d.
<b>Necesidades de mano de obra</b>	Necesidad elevada de mano de obra <i>in situ</i> , con más riesgos de accidentes y menos control en seguridad laboral.	Menos mano de obra <i>in situ</i> , con más seguridad en entornos controlados de fábrica.	4. Fase de estructura 5. Fase de instalaciones y acabados	n.d.
<b>Generación de residuos</b>	Generación elevada de residuos por falta de optimización y control de materiales.	Reducción significativa de residuos gracias a la optimización y reciclaje de componentes.	4. Fase de estructura 5. Fase de instalaciones y acabados	Reducción de los residuos en 50% - 90% Reducción del 10-15% de materiales desaprovechados a solo el 5%

Ámbito	Construcción Tradicional	Construcción Industrializada	Principales fases afectadas	Impacto estimado
<b>Consumo de recursos</b>	Uso intensivo de recursos con impacto ambiental elevado. Huella de carbono significativa.	Eficiencia de recursos y materiales sostenibles con una huella de carbono menor.	4. Fase de estructura 5. Fase de instalaciones y acabados	Reducción del consumo de recursos en un 35%.
<b>Necesidades de mantenimiento</b>	Necesidad más elevada de mantenimiento debido a la variabilidad en calidad y ejecución <i>in situ</i> .	Menor coste de mantenimiento gracias a la consistencia en calidad de componentes prefabricados.	8. Fase de mantenimiento y garantías	n.d.
<b>Eficiencia y logística</b>	Complejidad logística por requerir espacio de almacenamiento y suministros continuos.	Logística optimizada con transporte planificado y componentes acabados.	4. Fase de estructura 5. Fase de instalaciones y acabados	Reducción del 60% de desplazamientos de camiones a la obra
<b>Flexibilidad de diseño</b>	Alta flexibilidad para hacer cambios durante la construcción, pero a menudo con costes adicionales.	Planificación rigurosa con menos capacidad de cambios, pero mejora en calidad final.	1. Fase de proyecto y planificación	n.d.
<b>Estandarización y replicabilidad</b>	Dificultad para replicar calidad consistente en proyectos repetitivos a causa de variabilidad.	Planificación rigurosa con menos capacidad de cambios, pero mejora en calidad final	1. Fase de proyecto y planificación	n.d.
<b>Impacto sobre los vecinos</b>	Generación de polvo, ruido, congestión de tráfico por camiones y afectación viaria.	Facilidad para replicar proyectos con calidad consistente gracias a estandarización.	4. Fase de estructura 5. Fase de instalaciones y acabados	n.d.

Fuente: Elaboración propia (datos a partir de fuentes citadas en la bibliografía).

### 3.4. Análisis DAFO de la construcción industrializada

Si aplicamos el esquema DAFO para analizar la construcción industrializada como nuevo paradigma del sector, identificamos las siguientes debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (Rocha, P. F. et al., 2023; Rahman, M. M., 2014):

#### Debilidades:

- **Alta inversión inicial:** la construcción industrializada exige inversiones en la tecnología necesaria para transformar y adaptar el sector a este nuevo modelo organizativo. Esto puede suponer una barrera para empresas pequeñas y medias. Estas inversiones se pueden ver compensadas con ratios de rentabilidad financiera elevadas fruto del aumento de productividad.
- **Rigidez en el diseño y la flexibilidad:** la construcción industrializada necesita un diseño detallado desde el inicio, lo cual limita la capacidad de hacer cambios durante el proyecto y puede ser un inconveniente ante imprevistos.
- **Costes de aprendizaje y formación:** la transición hacia métodos industrializados requiere trabajadores

con habilidades técnicas específicas, cosa que implica costes adicionales de formación.

- **Gestión de la cadena de suministro:** la construcción industrializada requiere proveedores más especializados capaces de ofrecer soluciones a medida. Esto genera una dependencia mayor que en la construcción tradicional, porque los materiales pueden ser más commodity. Además, actualmente los proveedores de soluciones para la industrialización son pocos y por tanto, hay poca competencia.
- **Flujos de caja:** la producción fuera del lugar de obra puede dificultar la financiación y los flujos de caja, puesto que el avance físico no siempre se ve reflejado en las certificaciones de obra *in situ*.
- **Nuevos perfiles profesionales:** el cambio de modelo requiere buscar nuevos perfiles profesionales cualificados que pueden ser difíciles de encontrar, especialmente aquellos con habilidades digitales.
- **Limitaciones urbanísticas y reguladoras:** las normas que regulan la edificación tanto urbanísticas como el código técnico de edificación están concebidos para el esquema de construcción tradicional.

- **Dimensión mínima de proyectos:** la construcción industrializada se basa en las ventajas de la generación de economías de escala, y por tanto puede no ser un método adecuado para proyectos que no tengan una dimensión mínima.
- **Encarecimiento en caso de aprovisionamiento en largas distancias:** la carencia de proveedores próximos a las obras y la necesidad de transportes especiales para algunos componentes puede ser un factor que aumente el coste.
- **Mayor coste inicial del proyecto:** la construcción industrializada tiene un coste inicial más alto que la construcción tradicional. Este coste se tiene que poder compensar con ahorros a lo largo del proceso de construcción.

#### Amenazas:

- **Resistencia al cambio cultural:** como ha sucedido en otros sectores, el sector de la construcción a menudo está dominado por métodos tradicionales, y el cambio hacia la construcción industrializada puede encontrar resistencia entre trabajadores, empresas y clientes acostumbrados a los procesos tradicionales.
- **Carencia de proveedores especializados:** dificultad de encontrar proveedores especialistas en la fabricación de soluciones de construcción industrializada a coste competitivo.
- **Escalabilidad y masa crítica:** la construcción industrializada requiere un cierto volumen para conseguir costes competitivos gracias a economías de escala y con especial relevancia en entornos de mercado poco maduros. Esto puede dificultar la introducción de la construcción industrializada en proyectos que no logren un umbral de escala mínima.

#### Fortalezas:

- **Alta calidad y precisión en la producción:** la producción en entornos controlados de fábrica permite una alta precisión y consistencia en la calidad de los componentes, minimizando errores y variabilidad en el producto final.
- **Reducción de residuos:** la construcción industrializada optimiza el uso de materiales, reduciendo los residuos generados en comparación con la construcción tradicional.

- **Eficiencia energética durante el ciclo de vida:** los edificios industrializados tienen una mejor calidad de aislamiento y estanqueidad, lo que reduce el consumo energético a largo plazo y mejora la eficiencia energética.
- **Reducción de costes de mantenimiento:** la calidad y precisión de componentes fabricados industrialmente reducen la necesidad de mantenimiento, generando un ahorro a largo plazo para los propietarios de los edificios.
- **Mejora de la seguridad laboral:** la mayor parte del proceso se hace en fábricas, lo cual reduce la exposición de los trabajadores a riesgos laborales comunes en obras, como trabajos en altura y uso de equipación pesada.
- **Ampliación del mercado laboral e incorporación de la mujer:** la mejora de las condiciones laborales derivadas de la industrialización facilita la atracción de talento y la incorporación de la mujer en el sector de la construcción.
- **Reducción del tiempo de ejecución:** la posibilidad de producir componentes simultáneamente en fábrica y de avanzar en tareas de preparación en la obra permite reducir el tiempo de construcción.
- **Mejor control de costes:** la estandarización y la producción en entornos controlados permiten prever con mayor precisión los costes del proyecto y minimizar desviaciones presupuestarias, mejorando la gestión financiera.
- **Impacto ambiental reducido:** la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la optimización del consumo de agua y el uso de materiales sostenibles contribuyen a un menor impacto ambiental en comparación con la construcción tradicional.
- **Posibilidad de reutilización y economía circular:** los componentes modulares se pueden desmontar y reutilizar, cosa que favorece la economía circular y reduce el impacto ambiental al final de la vida útil del edificio.
- **Adaptabilidad a los estándares de sostenibilidad:** la construcción industrializada facilita el cumplimiento de estándares ambientales, lo que puede incrementar el valor inmobiliario y favorecer el acceso a financiación sostenible.
- **Automatización e innovación tecnológica:** el uso de tecnologías avanzadas como BIM, robótica y Yate aumenta la eficiencia, la precisión y la capacidad de monitorización en tiempo real, facilitando el control de calidad.
- **Escalabilidad y producción en serie:** la capacidad de estandarizar y producir en serie permite lograr economías de escala, reduciendo el coste por unidad

y haciendo que la construcción industrializada sea especialmente rentable en proyectos de gran envergadura.

- **Reducción del impacto en las zonas urbanas:** la construcción industrializada reduce el tráfico, el ruido y el polvo en zonas urbanas, mejorando la calidad de vida de las comunidades próximas al proyecto.
- **Alta predictabilidad en los plazos de entrega:** la planificación rigurosa y la producción controlada permiten cumplir con los plazos de entrega de manera fiable, reduciendo los riesgos de sanciones contractuales y aumentando la satisfacción del cliente.
- **Escalabilidad y producción masiva:** la construcción industrializada puede servir para dar respuesta a la crisis de vivienda, ya que permite construir viviendas con mayor rapidez y ponerlas al servicio de la sociedad.
- **Aumento de la productividad:** la aplicación de métodos de organización industrial al sector de la construcción puede favorecer un aumento de la productividad del sector.
- **Disminución de los costes laborales y de la necesidad de mano de obra i situ:** la construcción industrializada permite disminuir la cantidad de mano de obra requerida en el sitio de construcción, generando ahorros en los costes laborales.

#### **Oportunidades:**

**Generación de PIB industrial:** la construcción industrializada favorece la generación de PIB industrial, en línea con las estrategias de industrialización de la Unión Europea.

**Oportunidades de ocupación especializada:** la necesidad de trabajadores técnicos para operaciones en fábrica y en tecnología digital fomenta la creación de puestos de trabajo cualificados, mejorando el nivel educativo y técnico del sector.

**Creciente demanda de viviendas sostenibles y asequibles:** la escasez de viviendas en muchas ciudades y la creciente preocupación por la sostenibilidad impulsan la demanda de construcción industrializada, que puede ofrecer soluciones más rápidas, asequibles y sostenibles.

**Acceso a financiación verde e incentivos:** con el aumento de las inversiones sostenibles, los proyectos de construcción industrializada pueden acceder a financiación verde.

**Expansión en mercados internacionales:** La modularidad y estandarización de la construcción industrializada facilitan la exportación de componentes a otros países y regiones, permitiendo la expansión hacia nuevos mercados con demanda de soluciones constructivas rápidas y eficientes.



# 4. Impactos de la construcción industrializada desde una triple perspectiva: económica, medioambiental y social

A partir de las principales diferencias entre la construcción tradicional y la construcción industrializada, se pueden definir los impactos que tienen en diferentes ámbitos desde una triple perspectiva (económica, medioambiental, social).

## 4.1. Perspectiva económica

En el ámbito económico y financiero, la aplicación de la construcción industrializada tiene un impacto en los siguientes aspectos:

### 4.1.1. Impactos en el Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

- **Coste de los materiales.** El impacto en el coste de los materiales en la construcción industrializada y la construcción convencional depende de las soluciones que se empleen para industrializar. Esto sucede porque el diferencial de coste varía según se trate de soluciones basadas en madera o en hormigón, puesto que el coste de las materias primas de estas soluciones es diferente. Aun así, es necesario prever que la partida de materiales en la construcción industrializada se diferencia de la utilizada en la construcción tradicional en los siguientes aspectos:
  - La materia prima de la solución prefabricada – las más habituales son las basadas en hormigón, madera o acero.
  - El valor añadido de la solución prefabricada comparado con el de los materiales habituales que integra la construcción convencional como los ladrillos (cerámica) y el hormigón.

- El aprovechamiento de los materiales es menor en la construcción convencional porque el proceso constructivo no está optimizado.
- **Coste de mano de obra directa.** La construcción industrializada es intensiva en tecnología, a diferencia de la construcción tradicional que es intensiva en mano de obra. Algunos de los impactos de la construcción industrializada en la mano de obra son: reducción de la mano de obra por la automatización de procesos, necesidad de personal más especializado (planificación de procesos de fabricación, ensamblaje de componentes en la obra...), reducción del tiempo de ejecución de la obra, optimización de las tareas a llevar a cabo (eliminación de tareas redundantes...).
- **Coste de maquinaria e infraestructuras.** La reducción de los plazos de construcción puede implicar un menor periodo de uso de maquinaria, como andamios o grúas torre, y, por lo tanto, una reducción en los costes de alquiler o amortización de estos equipos.
- **Costes de desplazamientos a la obra.** La reducción del trabajo en el sitio de obra supone una reducción del coste de los desplazamientos de los trabajadores, que también puede comportar gastos en dietas y alojamientos.
- **Costes logísticos.** El transporte de soluciones con mayor valor añadido, en lugar de llevar todos los materiales directamente a la obra, reduce la cantidad de camiones necesarios. Sin embargo, el transporte de soluciones prefabricadas puede requerir vehículos especiales debido a sus dimensiones, lo que podría aumentar los costes logísticos.
- **Gestión de residuos.** Las obras tienen costes vinculados a la gestión de los residuos que se generan en el sitio de obra. La reducción de la manipulación de materiales en la obra comporta una reducción de la generación de residuos y el consiguiente menor coste en la gestión de estos.
- **Seguridad y seguros.** Reducción de los costes de seguro y seguridad, puesto que la construcción en fábrica tiene un menor riesgo de accidentes laborales en comparación con la construcción en la obra.
- **Consumo energético.** Reducción del consumo energético en el proceso constructivo.
- **Licencias de ocupación de la vía.** Las obras comportan habitualmente la ocupación de la vía pública para poder ejecutar la construcción. El coste de las licencias acostumbra a tener en cuenta los m<sup>2</sup>/día.

La reducción de los plazos de construcción tiene un impacto en este coste.

- **Costes de posventa.** Reducción de los costes de posventa fruto de la menor variabilidad en las calidades de la obra. Se estima que la reducción de los defectos puede situarse en el 75% (Rahman, M. M., 2014).

#### 4.1.2. Impactos en el Presupuesto de Ejecución de Contrato (PEC) y en el Coste final del edificio

- **Gastos de amortización.** La introducción de tecnología requiere inversiones que se tienen que amortizar, a diferencia de la mano de obra a la que sustituye. Es decir, los gastos operativos de mano de obra (opex) se sustituyen por inversiones (capex), con la consiguiente amortización.
- **Costes de supervisión.** Los costes de supervisión se reducen, ya que la producción en plantas permite estandarizar la calidad y reduce el tiempo necesario para supervisar una obra in situ.
- **Costes indirectos.** Menor imputación de costes indirectos por la mejora de la productividad.
- **Coste de financiación.** El proceso de construcción de una obra supone tiempo en el cual el promotor de la obra tiene un activo inmovilizado (suelo) en que se está llevando a cabo una inversión (obras) para la posterior explotación o venta del mismo. La reducción del plazo de ejecución de las obras comporta una reducción del periodo de financiación con el consiguiente ahorro en intereses (Ofori-Kuragu & Osei-Kyei, 2021). A la vez, la reducción del plazo de construcción incrementa la rotación de activos.  
La construcción industrializada, al promover la sostenibilidad (reducción de residuos e impacto ambiental), se alinea con criterios de inversión ESG (ambientales, sociales y de gobernanza), lo cual facilita el acceso a financiación con mejores condiciones.
- **Coste de mantenimiento.** Menor necesidad de mantenimiento gracias a la calidad y precisión en la fabricación de componentes. Esto reduce los costes a largo plazo y aumenta la vida útil de los edificios.
- **Eficiencia energética durante el ciclo de vida del activo.** La construcción industrializada aplica estándares de calidad más altos, lo que favorece no solo mejores aislamientos y mayor estanqueidad, sino también otras mejoras que contribuyen a una menor demanda energética a lo largo del ciclo de vida del edificio.

- **Reutilización y reciclaje de materiales:** La modularidad de la construcción industrializada facilita el desmontaje y la reutilización de componentes, así como el reciclaje de los materiales una vez finalizada la vida útil del edificio. Esto favorece la economía circular en el sector constructivo.

## 4.2. Perspectiva medioambiental

En el ámbito medioambiental, los principales efectos que genera la construcción industrializada en las áreas clave para las empresas del sector son:

### a. Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero

- Optimización del consumo energético. El proceso industrializado permite una mayor eficiencia energética en la producción de elementos, puesto que se hace en entornos optimizados para ahorrar energía.
- Disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>. La prefabricación en fábrica y el montaje *onsite* pueden llegar a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a la construcción tradicional por la eficiencia del proceso. Se estima que la reducción puede ser del 60% (Ofori-Kuragu & Osei-Kyei, 2021).

### b. Políticas de gestión medioambiental

- **Control de impacto ambiental.** El uso de tecnologías digitales que requiere la industrialización favorece un mejor control del impacto ambiental de la obra y facilita el conocimiento del cálculo de la huella de carbono desde la construcción hasta la vida útil del edificio.
- **Mantenimientos preventivos.** Las tecnologías digitales requeridas por la industrialización permiten la monitorización del edificio durante toda su vida útil y la programación de mantenimientos preventivos, lo que se traduce en una mayor durabilidad de los componentes del edificio y en una menor necesidad de renovación de estos.

### c. Gestión de residuos

- **Reducción de residuos.** Optimización en el uso de materiales en fábrica, que reduce la generación de residuos en comparación con la construcción tradicional.

#### d. Consumo y gestión de los recursos hídricos

- **Ahorro de recursos naturales.** A causa del uso racionalizado de los materiales y los procesos estandarizados, se reduce el consumo de recursos naturales. Además, se estima que el 90% de los recursos utilizados pueden ser posteriormente reciclados al final del ciclo de vida útil (Aedas Homes, 2021).
- **Menor huella hídrica.** Los procesos estandarizados de construcción industrializada optimizan el uso de agua, reduciendo su consumo: en particular, 20% menos en el proceso constructivo y 17% menos de consumo durante la vida útil (Aedas Homes, 2021).

#### e. Otros

- **Impacto urbano de las obras.** Al minimizar la generación de polvo, ruido y otros contaminantes, la construcción industrializada reduce la interferencia en las zonas urbanas y mejora la calidad de vida en comunidades próximas a proyectos constructivos.
- **Aumento de la vida útil del edificio.** Se calcula que la mejora de la calidad constructiva permite mejorar entre un 70% y un 100% la vida útil del edificio (Aedas Homes, 2021).

En este sentido, hay que tener en cuenta que actualmente está pendiente de aprobación el anteproyecto de modificación de la orden ministerial que regula la valoración de inmuebles y el crédito promotor<sup>3</sup>. El anteproyecto incorpora como novedad el principio de sostenibilidad, que establece que los métodos de cálculo del valor del inmueble deben considerar indicadores que reflejen el impacto de los factores medioambientales y socioeconómicos en su valor. Además, introduce criterios medioambientales en el principio de prudencia, que estipula que, en la valoración del inmueble, deben tenerse en cuenta los riesgos ambientales y climáticos que puedan afectarlo.

Estos cambios en los criterios, que incorporan la sostenibilidad como factor clave en la valoración de inmuebles, son de gran relevancia, ya que una de las principales aportaciones de la industrialización está directamente vinculada a la sostenibilidad.

### 4.3. Perspectiva social

En el ámbito social, se identifican varios ámbitos donde la construcción industrializada genera efectos:

#### a. Salud y seguridad laboral

- **Condiciones laborales.** La construcción en entornos controlados de fábrica ofrece a los trabajadores un espacio más seguro y protegido, con menor exposición a condiciones climáticas extremas y con tareas más estructuradas. Además, la construcción en fábricas garantiza una mayor estabilidad en un puesto de trabajo que no requiere la permanencia durante periodos prolongados en obras que pueden estar lejos del entorno del trabajador.
- **Seguridad laboral.** La concentración del proceso de producción en fábricas minimiza la exposición de los trabajadores a riesgos laborales propios de la construcción tradicional, como caídas, uso de herramientas pesadas y trabajos en altura, además de mejorar las condiciones de seguridad general onsite.

#### b. Creación de puestos de trabajo y condiciones laborales

- **Mejora de la calidad de los puestos de trabajo.** La industrialización del sector genera nuevos puestos de trabajo, típicamente con un mayor grado de especialización propio de la industria, lo que puede resultar en empleos mejor remunerados (Rahman, M. M., 2014).
- **Incorporación de talento femenino.** La transformación de los puestos de trabajo de la construcción hacia trabajos con menores requerimientos físicos facilita la incorporación de talento femenino al sector. Se calcula que la construcción industrializada duplica la presencia de mujeres en puestos de trabajo en comparación con la construcción tradicional (Aedas Homes, 2021).
- **Reducción de puestos de trabajo de bajo nivel.** Se calcula que se reduce en un 60% la mano de obra no especializada (Aedas Homes, 2021).

<sup>3</sup> ORDEN ECO/805/2003, de 27 de marzo, sobre normas de valoración de bienes inmuebles y de determinados derechos para ciertas finalidades financieras.

---

### c. Otros

- **Acceso a la vivienda.** La construcción industrializada permite una producción más rápida y eficiente de viviendas, lo cual puede contribuir a abaratar los costes de producción y, por lo tanto, facilitar el acceso a viviendas asequibles para la población.
- **Calidad de las viviendas.** La mejora de la calidad de la construcción genera un impacto social por la mejora de los espacios donde habita la ciudadanía.



## 5. Resultados de las entrevistas con expertos

La industrialización de la construcción ha sido objeto de análisis en las entrevistas realizadas a varias empresas y expertos del sector. La selección de empresas que se han entrevistado ha permitido cubrir las diferentes fases de la cadena de valor del proceso de edificación. En particular, se han entrevistado a las empresas siguientes:

- Empresas de servicios: Junquera Arquitectos e iTEC
- Empresas de construcción industrializada: Grupo Avintia y CompactHabit
- Empresas promotoras inmobiliarias: Culmia y Metropolitan House

Estas empresas han compartido su visión sobre los efectos, las ventajas y los desafíos de la construcción industrializada. A partir de estas conversaciones, se han identificado aspectos clave que permiten comprender mejor el impacto de la industrialización en el proceso constructivo.

### 5.1. Sistemas de construcción industrializada más comunes

En el sector de la construcción, la industrialización se materializa a través de varias técnicas que permiten la prefabricación de elementos en fábrica y su ensamblaje en obra. Entre los métodos más utilizados destacan el uso de módulos prefabricados, que permiten reducir los tiempos de ejecución. Un ejemplo es el sistema constructivo panelizado offsite Wallex, desarrollado por Grupo Avintia en colaboración con CEMEX Ventures. Wallex, integrado en el sistema ÀVIT-A, permite la producción de paneles autoportantes que conforman la estructura y la fachada de los edificios.

Junquera Arquitectes menciona que la combinación de elementos prefabricados con técnicas tradicionales resulta en una mayor eficiencia sin perder flexibilidad en el diseño.

***“Wallex destaca por su creatividad en el diseño, puesto que permite acoplar paneles completos de fachada con ventanas y otros acabados ya incorporados, eliminando la necesidad de andamios y***

***reduciendo los tiempos de montaje. Se han explorado soluciones como los baños y cocinas prefabricadas, aunque su implementación todavía enfrenta desafíos en el mercado español”.***

Una de las experiencias más destacadas en la aplicación de la construcción industrializada es el Plan Vive, donde varias empresas han participado en la construcción de miles de viviendas mediante técnicas industrializadas. El Grupo Avintia ha construido más de 1.700 viviendas en un tiempo récord dentro de este programa, demostrando la eficacia del modelo constructivo industrializado frente a la obra tradicional. En este proyecto, se han industrializado elementos clave como la estructura y la fachada con el sistema Wallex (incluyendo muros de carga prefabricados de hormigón con aislamiento, ventanas preinstaladas y acabados exteriores e interiores), terrazas prefabricadas, chimeneas, escalas y barandillas metálicas, así como sistemas industrializados en la ventilación de garajes.

Junquera Arquitectos y Culmia también han participado en proyectos del Plan Vive, destacando la optimización del tiempo y la reducción de costes indirectos como algunas de sus principales ventajas. Según Grupo Avintia y Culmia, la industrialización ha representado entre el 40% y el 42% del presupuesto de ejecución material. Estos tipos de iniciativas evidencian el impacto positivo de la industrialización en proyectos de gran escala. Además, la colaboración con proveedores y el trabajo conjunto con los equipos de arquitectura han permitido ajustes y mejoras en el proceso de diseño, evitando ineficiencias y optimizando la planificación de cada promoción.

### 5.2. Beneficios del uso de sistemas de construcción industrializada

En general, los beneficios de la construcción industrializada en términos de ahorro de costes se centran en la reducción del tiempo de entrega, la optimización de recursos, y la mejora en la calidad de los elementos fabricados. Según los entrevistados, las partidas que pueden experimentar una reducción de costes incluyen los costes indirectos asociados a la obra (como por ejemplo el alquiler de maquinaria, la seguridad en obra y el uso de andamios), puesto que muchos elementos llegan a punto para instalarlos. Además, se pueden reducir costes de personal al disminuir la necesidad de trabajadores en obra, dado que gran parte del trabajo se realiza en fábrica. También la producción en fábrica garantiza una mayor precisión en los acabados, cosa que reduce errores en obra y minimiza la necesidad de realizar correcciones o

ajustes durante la construcción y post-venta. No obstante, los entrevistados coinciden en que, aunque los costes directos de los materiales no siempre son inferiores a los de la construcción tradicional, el verdadero ahorro proviene de la reducción en el plazo de ejecución.

Precisamente, el menor tiempo de entrega permite a los promotores obtener ingresos más rápidamente en proyectos de vivienda de alquiler y reducir los intereses financieros asociados a la financiación de la obra. Grupo Avintia menciona que:

***“Este modelo permite acortar los tiempos en un 30%, como pasó en el Plan vive, donde conseguimos construir 1.763 viviendas en un tiempo récord”.***

CompactHabit asegura que la reducción puede ser todavía más grande, llegando a un 50%, y citan ejemplos como la construcción de un hospital COVID de 4.000 m<sup>2</sup> en solo 4 meses y medio, o una escuela acabada en aproximadamente 6 meses. Por su parte, Junquera Arquitectos y Culmia coinciden en que la industrialización puede suponer un ahorro de 4 a 5 meses en una obra típica, cosa que en proyectos de 24 meses podría reducir la ejecución a 18-19 meses.

***“El menor tiempo de entrega se consigue sin sacrificar la calidad. Al contrario, la producción en fábrica mejora la precisión al trasladar gran parte del proceso a entornos controlados”.***

CompactHabit destaca que la producción en fábrica optimiza los procesos y reduce los errores, llegando incluso a instalar electrodomésticos para evitar daños en la obra, práctica que se ha aplicado en proyectos como una residencia de estudiantes en Francia. Grupo Avintia subraya el uso de modelos 3D colaborativos, que permiten planificar con precisión las instalaciones y estructuras, reduciendo imprevistos en el montaje. Aun así, Junquera Arquitectos advierte de que el sistema Wallex requiere una ejecución muy precisa, puesto que los paneles llegan acabados y cualquier error de diseño podría afectar a la instalación.

Otro aspecto muy relevante de la construcción industrializada es su impacto ambiental positivo. Grupo Avintia destaca que este modelo ha permitido una disminución del 75% en residuos, del 35% en el consumo de agua y del 40% en emisiones de CO<sub>2</sub>. Por su parte, Junquera Arquitectos y Culmia estiman ahorros en residuos de 25-44% y en el consumo de energía y agua de hasta 45%. En términos de eficiencia energética, los edificios del Plan Vive han conseguido certificaciones

BREEAM Excellent o Very Good, y un 32% de ahorro en costes energéticos. Aun así, Culmia señala que, aunque han reducido las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 8%, el uso de hormigón continúa siendo un desafío. Finalmente, la industrialización también ayuda a mitigar el impacto sobre el entorno urbano, estimando Grupo Avintia que el ruido en obra se reduce en un 50%, disminuyendo molestias para los vecinos.

La industrialización también afecta a la estructura laboral del sector y ofrece condiciones de trabajo más seguras y estables en comparación con la obra tradicional, donde los riesgos derivados del clima y el trabajo en altura son más frecuentes. Grupo Avintia señala que:

***“Cada vez hay menos personas dispuestas a trabajar en obra, y que muchos de estos puestos de trabajo acabarán trasladándose a entornos industrializados.”***

Esta transición también requiere nuevas habilidades y formación especializada, por lo cual Culmia y Junquera Arquitectos destacan la necesidad de programas de capacitación para adaptarse a los nuevos procesos productivos. Además, a diferencia de la construcción tradicional, donde los trabajadores tienen que cambiar de ubicación con frecuencia, la industrialización permite puestos de trabajo más estables en fábricas, como en el caso de la fábrica que Grupo Avintia tiene en Aranda de Duero, donde produce los paneles Wallex. CompactHabit resalta que este modelo de producción ha diversificado el perfil del trabajador, fomentando la inclusión de mujeres en un sector históricamente dominado por hombres y promoviendo la polivalencia dentro de los equipos de trabajo.

Finalmente, es fundamental considerar la flexibilidad, permitiendo adaptaciones sin comprometer la identidad arquitectónica. Culmia señala que, a pesar de trabajar con una biblioteca de elementos estandarizados, los edificios pueden tener diseños completamente diferentes, manteniendo versatilidad sin perder eficiencia. CompactHabit enfatiza que la industrialización no implica uniformidad, sino que posibilita la creación de módulos estructurales con acabados personalizados según el proyecto, lo que es especialmente útil en sectores como residencias y hoteles, donde la repetibilidad mejora la eficiencia sin restringir el diseño.

### 5.3. Retos del uso de sistemas de construcción industrializada

La importancia de la optimización del proceso productivo es un factor clave en la industrialización de la construcción. CompactHabit destaca que la planificación detallada y la coordinación entre fábrica y obra son esenciales para evitar ineficiencias y garantizar el éxito del proyecto. Por su parte, Grupo Avintia subraya que la logística y el transporte de los elementos prefabricados se tienen que gestionar con precisión para evitar retrasos y sobrecostos innecesarios.

***“La repetibilidad en el diseño de módulos es vital en la optimización del proceso productivo, que en construcción industrializada no es lo mismo que la producción a gran escala”.***

CompactHabit señala que la repetición de módulos estructurales en diferentes proyectos mejora la eficiencia sin hacer que los edificios sean idénticos, puesto que los acabados pueden variar según el diseño del arquitecto. Esto es especialmente relevante en sectores como residencias y hoteles, donde la uniformidad de ciertos espacios facilita la producción en fábrica.

Junquera Arquitectos también menciona que la industrialización implica trabajar con componentes predefinidos, similares a "piezas de LEGO", cosa que requiere adaptar los diseños a sistemas constructivos repetibles, sin perder flexibilidad. Culmia recalca que la existencia de una biblioteca de elementos industrializados permite mantener un proceso eficiente sin comprometer la diversidad de los proyectos. En este sentido, la repetibilidad es más importante que la producción masiva, puesto que permite lograr economías de escala sin limitar la creatividad ni la adaptabilidad de los edificios.

Uno de los retos principales de la construcción industrializada es la financiación y la adaptación de los mecanismos tradicionales a este nuevo modelo de edificación. Grupo Avintia señala que el sistema financiero continúa centrado en la construcción tradicional, donde los pagos dependen de certificaciones de obra, cosa que genera dificultades para la industrialización puesto que muchos elementos se fabrican fuera del lugar. Culmia destaca que los bancos solo financian componentes que ya están en la obra, obligando a los promotores a avanzar pagos con fondos propios y aumentando la tensión de liquidez. Para mitigar este problema, se están explorando reformas que permitan financiar elementos antes de la instalación, como pasa en otros sectores industriales.

Culmia añade que las certificaciones ambientales como BREEAM están adquiriendo mayor relevancia, ya que son requisitos clave para acceder a determinadas líneas de crédito e inversiones institucionales.

Además del desafío financiero, la normativa y los procedimientos administrativos tampoco están completamente adaptados a la construcción industrializada, cosa que puede generar retrasos y sobrecostos burocráticos. CompactHabit señala que, aunque muchos ayuntamientos valoran la rapidez de este modelo, los trámites continúan siendo lentos y no están diseñados para proyectos con componentes prefabricados, lo que ha provocado retrasos en algunas obras. También destacan que las administraciones no están familiarizadas con la construcción de parte del edificio fuera del solar, lo que dificulta la certificación de obra y los pagos, ya que los procesos actuales suponen que todo el avance debe pasar físicamente en el lugar de construcción. Grupo Avintia añade que:

***“La legislación vigente está desactualizada y no contempla las particularidades de la industrialización, creando barreras que retrasan su adopción. Para impulsar este modelo, consideran fundamental actualizar la normativa y adaptarla a las nuevas maneras de construir”.***

Para acabar, las empresas entrevistadas resaltan la importancia de la evolución tecnológica en la construcción industrializada. Grupo Avintia destaca el uso de robots encofradores en la fábrica de Aranda, que colocan los moldes de hormigón con precisión milimétrica, eliminando la variabilidad de la mano de obra y mejorando la calidad de los elementos fabricados. Además, la implementación de modelos colaborativos en 3D ha permitido integrar estructura, instalaciones y arquitectura en una única plataforma digital, facilitando el ensamblaje en la obra y reduciendo imprevistos. Culmia destaca el papel clave de BIM (*Building Information Modeling*) en la gestión de proyectos industrializados, permitiendo la creación de una biblioteca única de elementos para todos los arquitectos, así como un entorno de datos común que facilitó la coordinación y minimizó los errores en los proyectos del Plan Vive. Estos avances tecnológicos no solo mejoran la calidad de los edificios, sino que también hacen que la construcción sea más predecible, eficiente y sostenible.

# 6. Resultados del análisis del caso de estudio

## 6.1. Presentación del caso de estudio

A continuación, hemos realizado un análisis de los efectos de la aplicación de sistemas de construcción industrializada en los ámbitos económico y de la sostenibilidad. Para realizar este análisis, hemos tenido acceso a la memoria técnica de construcción completa, al presupuesto económico de construcción, y al personal a cargo de una promoción de viviendas construidas mediante métodos tradicionales. A partir de la información obtenida en la revisión de la literatura y las entrevistas con expertos, hemos realizado una estimación de los efectos que tendría la aplicación de las técnicas de industrialización más comunes en este proyecto de edificación. Los resultados obtenidos nos han permitido identificar y cuantificar los efectos económicos, medioambientales y sociales más significativos.

El análisis comparativo se lleva a cabo considerando metodologías desarrolladas en el informe "Methodology for quantifying the benefits of offsite construction" de la Universidad de Cambridge.

Las principales características del proyecto son:

- Superficie del solar: 601,29 m<sup>2</sup>.
- 70 viviendas, 1 local, 70 plazas de aparcamiento de turismos y 25 plazas de motocicletas.
- Planta Baja, 14 plantas piso y 5 plantas sótano.
- Cada planta cuenta con 5 viviendas.
- La superficie construida de cada vivienda son 88 m<sup>2</sup>. La superficie útil total es de 73 m<sup>2</sup> interiores y 12,5 m<sup>2</sup> de balcón.
- La superficie construida total son 12.162 m<sup>2</sup>.

## 6.2. Soluciones de construcción industrializada aplicadas

La industrialización que se aplicará en este primer proyecto se centrará en la estructura con muros prefabricados de hormigón y en la fachada. La industrialización de estos dos elementos impactará en

otras fases de la obra, ya que tanto la estructura como la fachada industrializada incorporan componentes como aislamientos o preinstalaciones.

La revisión bibliográfica realizada y las entrevistas con profesionales del sector sugieren que la industrialización puede reducir el tiempo de ejecución entre un 20% y un 50%. Esta reducción en los plazos es uno de los factores de mayor impacto de la construcción industrializada, dado que los costos asociados a la duración de la obra (por ejemplo, personal en obra, alquiler de grúas y otros costos indirectos) se ven considerablemente disminuidos.

Para llevar a cabo el caso de estudio y considerando un criterio de prudencia, estimaremos una reducción del 30% en el plazo de construcción gracias a la industrialización de los elementos mencionados. En la memoria técnica se indica que la duración prevista del proyecto será de 555 días (18,5 meses), pero el cálculo del personal de obra está basado en un máximo de 17 meses. La diferencia de 1,5 meses restantes se entiende como el tiempo de gestión inicial de la constructora desde su contratación. Esto implicará que el plazo de construcción será de 12 meses, es decir, 5 meses menos que los previstos con construcción tradicional.

## 6.3. Información económica del proyecto

El análisis de los impactos de la industrialización se basará en el estudio del Presupuesto de Ejecución Material (PEM) y el Presupuesto de Ejecución de Contrato (PEC) de la obra objeto del presente caso de estudio.

Los principales datos de la oferta económica que ha presentado la constructora a la empresa promotora son:

Figura 6. Datos oferta económica edificio residencial

	Importe
Presupuesto Ejecución Material (PEM)	9.833.628,97 €
Gastos generales (13%)	1.278.371,77 €
Beneficio industrial (6%)	590.017,74 €
<b>Presupuesto Ejecución de Contrato (PEC)</b>	<b>11.702.018,48 €</b>

Fuente: Presupuesto

El PEM corresponde a los costes directos de construcción, e incluye principalmente aquellas partidas que se pueden asignar a la unidad de obra (ej. m<sup>2</sup> construidos, viviendas construidas, etc.) o en una fase concreta de la obra.

El PEM actual es el siguiente:

Figura 7. Principales capítulos presupuesto ejecución material

Capítulo	Importe	Distribución (%)
Movimiento de tierras + Fundamentación	1.369.344,54 €	13,93
Estructura	1.638.379,63 €	16,66
Arquitectura	4.747.674,63 €	48,28
Instalaciones	2.078.230,17 €	21,13
<b>Total</b>	<b>9.833.628,97 €</b>	<b>100</b>

Fuente: Presupuesto

Por otro lado, se obtiene al sumar el PEM, los gastos generales y el beneficio industrial. Los gastos generales hacen referencia a aquellos costes indirectos que la empresa constructora imputa a la obra, que se pueden estructurar en:

- Costes indirectos de empresa
- Costes indirectos de dirección
- Costes indirectos de personal de obra
- Costes indirectos de estructura de obra

## 6.4. Análisis del impacto de la industrialización en la estructura de costes

Para llevar a cabo la comparativa, antes que nada identificaremos las partidas de cada capítulo del PEM que consideramos que están afectadas por la industrialización que proponemos en este proyecto.

En estas partidas identificadas como afectadas analizaremos cuáles son los factores de la construcción industrializada que tienen impacto y aplicaremos un coeficiente de corrección. La aplicación del coeficiente de corrección se hará teniendo en cuenta un criterio de prudencia y a partir de los coeficientes de la revisión de literatura y las entrevistas con expertos.

### 6.4.1. Impactos en los costes directos

Capítulo de Estructura:

Figura 8. Principales impactos en el capítulo de estructura

Capítulo de estructura (partidas afectadas)	Coste	Factor de impacto	% de reducción	Estimación potencial ahorro
Vigilancia de obra	13.921,30 €	tiempo	30%	4.176,39 €
Grúa	10.326,38 €	tiempo	30%	3.097,91 €
Escombros	5.946,42 €	sostenibilidad	75%	4.459,81 €
Materiales y ejecución de estructura	1.563.401,55 €	tiempo	30%	0 €
<b>Total</b>	<b>1.593.595,65 €</b>			<b>11.734,11 €</b>

Fuente: Elaboración propia

Materiales y ejecución de estructura:

La ejecución de la estructura es uno de los elementos centrales que se industrializan en el presente caso de estudio. Para realizar el análisis de los costes y el cálculo del impacto de la industrialización hay que tener en cuenta la naturaleza de los costes a partir de la cual se descompone esta partida. Mediante información extraída con los responsables del proyecto, consideraremos que la partida *Materiales y ejecución de estructura* está formada por:

- Costes directos: 97%
  - Mano de obra directa: 20%
  - Materiales y maquinaria utilizada: 77%
- Coste indirecto: 3%
  - Mano de obra de supervisión: 3%

En cuanto al impacto de la industrialización en esta partida, y basándonos en la revisión bibliográfica realizada, consideramos que los costes de la partida de *Mano de obra directa* y *supervisión* se reducirán en un 30% debido a la disminución del tiempo de entrega. Este ahorro en mano de obra se traduce en una reducción de 107.875€.

El cálculo del impacto en los costes de *Materiales y maquinaria utilizada* depende en gran medida del proveedor y de la solución industrializada adoptada. Por este motivo, no es posible calcular directamente el aumento previsible del coste de la solución prefabricada en comparación con los materiales necesarios para la construcción tradicional en obra.

No obstante, los cálculos realizados indican que, para incrementos de coste de la solución prefabricada inferiores al 9% en relación con el coste de los materiales

en la construcción tradicional, el ahorro generado por la reducción de la mano de obra compensará el mayor coste de los materiales.

Para el presente caso de estudio, asumiremos que el diferencial del coste de los materiales es del 9% y, por tanto, la industrialización tiene un impacto neutro en la partida de *Materiales y ejecución de estructura* del capítulo de *Estructura*.

Capítulo de Arquitectura:

Figura 9. Principales impactos en el capítulo de arquitectura

Capítulos de Arquitectura (partidas afectadas)	Coste	Factor de impacto	% de reducción	Estimación potencial ahorro
Grúa	42.478,85 €	tiempo	30%	12.743,66 €
Medios auxiliares de obra	22.619,76 €	tiempo	30%	6.785,93 €
Escombros	24.522,56 €	sostenibilidad	75%	18.931,92 €
Vigilancia de obra	57.266,98 €	tiempo	30%	17.180,09 €
Limpieza profesional de la obra	29.608,69 €	tiempo	30%	8.882,61 €
Enlucidos	88.119,57 €	tiempo	30% (sobre 23% de coste de mano de obra directa y de supervisión)	6.080,20 €
Acabados de fachada	174.470,95 €	tiempo	idem	12.038,50 €
Protección y aislamientos	86.228,91 €	tiempo	idem	5.949,80 €
<b>Total</b>	<b>525.316,27 €</b>			<b>88.592,71 €</b>

Fuente: Elaboración propia



## 6.4.2. Impactos en los costes indirectos

A continuación, analizaremos el impacto sobre los gastos generales, que mayoritariamente se trata de costes indirectos.

Figura 10. Principales impactos en los gastos generales

Gastos generales (partidas afectadas)	Coste	Factor de impacto	% de reducción	Estimación potencial ahorro
<b>Personal de dirección</b>				
Jefe de Obra (Obra civil)	128.165,04 €	tiempo	30%	38.449,51 €
Jefe de Producción	63.977,81 €	tiempo	30%	19.193,34 €
<b>Personal de obra</b>				
Gruista	113.086,80 €	tiempo	30%	33.926,04 €
Encargado de obra	65.967,30 €	tiempo	30%	19.790,19 €
Oficial	59.684,70 €	tiempo	30%	17.905,41 €
Peón	94.239,00 €	tiempo	30%	28.271,70 €
<b>Estructuras de obra</b>				
Almacén	1.727,72 €	tiempo	30%	518,31 €
Vestuario y comedor del personal	6.282,60 €	tiempo	30%	1.884,78 €
Sanitarios químicos	8.167,38 €	tiempo	30%	2.450,21 €
Limpieza de casetas de obra y oficinas	3.298,37 €	tiempo	30%	989,51 €
Alquiler de casetas de obra	3.769,56 €	tiempo	30%	1.130,87 €
Alquiler de grúa	56.543,40 €	tiempo	30%	16.963,02 €
Maquinaria diversa (plataformas, etc.)	12.565,20 €	tiempo	30%	3.769,56 €
Pequeña herramienta	1.570,65 €	tiempo	30%	471,20 €
Consumo agua	4.500,00 €	sostenibilidad	30%	1.350 €
<b>Post-venta</b>				
Provisión post-venta obra*	35.316,59 €	calidad	75%	26.487,44 €
<b>Total</b>	<b>658.862,11 €</b>			<b>213.551,1 €</b>

Fuente: Elaboración propia

\* Provisión post-venta obra:

En los gastos generales se incluye una provisión que la constructora hace para la gestión de la post-venta. Hay que tener en cuenta que la revisión de la bibliografía y las entrevistas con los expertos nos indican que se trata de una partida que se puede ver fuertemente impactada por la construcción industrializada, puesto que permite una estandarización de la calidad que repercute en una reducción de los costes de post-venta.

En la figura 11 podemos observar que el ahorro más importante proviene de la reducción de los costes indirectos de la obra o gastos generales. Estos

representan el 68% del ahorro de costes.

Los cálculos nos indican que el potencial impacto de la construcción industrializada en el PEC por el presente caso de estudio es de **313.877,92 €**, lo que supone un ahorro del **2,68%** respecto al PEC de la construcción tradicional.

Figura 11. Tabla resumen de los principales ahorros derivados de la aplicación de la construcción industrializada

Capítulos	Importe ahorro	Distribución del ahorro (%)
Costes directos - Estructura	11.734,11 €	3,73%
Costes directos - Arquitectura	88.592,71 €	28,22%
Costes indirectos - Gastos generales	213.551,1 €	68,05%
<b>Total</b>	<b>313.877,92 €</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia

Los principales factores de impacto en la generación de ahorro que se han tenido en cuenta son el tiempo, la sostenibilidad, y la calidad. El potencial ahorro estimado para cada uno de estos factores para el presente caso de estudio es:

Figura 12. Impacto económico de los diferentes factores de impacto

Factor de impacto	Importe ahorro	Distribución del ahorro (%)
Tiempo	262.648,74 €	83,7%
Calidad	26.487,44 €	8,4%
Sostenibilidad	24.741,73 €	7,9%
<b>Total</b>	<b>313.877,92 €</b>	<b>100 %</b>

Fuente: Elaboración propia

Los gastos generales se estimaron en el presupuesto inicial añadiendo al presupuesto de la obra un 13% del PEM en concepto de gastos generales o costes indirectos de la constructora asignados a la obra. En el caso de estudio, y con la reducción de estos gastos generales, se estima que se situarán en el 11% del PEM calculado para el supuesto de aplicación de la industrialización.

Figura 13. Comparación de los presupuestos PEM y PEC según supuesto de construcción tradicional o industrialización

	Caso sin aplicación industrialización	Estimación importes aplicación industrialización
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	9.833.628,97 €	9.733.302,15 €
Gastos generales	1.278.371,77 €	1.064.820,67 €
Beneficio industrial (6%)	590.017,74 €	583.998,13 €
Presupuesto Ejecución de Contrato (PEC)	11.702.018,48 €	11.382.120,95 €

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.3. Impactos en los costes de promoción

A continuación, se estudia el impacto de esta reducción de plazos en sus costes de financiación habituales. La empresa promotora plantea solicitar un préstamo promotor por el 80% del PEC del proyecto a un tipo de interés nominal del 3%. El préstamo se dispondrá en 4 fases: la primera fase corresponderá al 15%, la segunda al 35%, la tercera al 30% y, finalmente, el 20% en la cuarta fase.

Para poder hacer la comparación, en primer lugar, se estima el costo de financiación que tendría inicialmente al llevar a cabo la obra en 17 meses, basándose en el presupuesto inicial que no contemplaba la industrialización (caso A).

En segundo lugar, se calcula el costo de financiación para el 80% del PEC que incluye la aplicación de técnicas de industrialización y la realización de la obra en 12 meses (caso B).

Figura 14. Coste de financiación para la empresa promotora

Caso	A	B	Diferencia
Intereses acumulados al final de la vida del préstamo (coste financiero)	244.572,19 €	170.773,08 €	73.799,11€

Fuente: Elaboración propia

El potencial de ahorro financiero identificado es de casi 73.800 €, lo que representa una reducción del 30% en el coste financiero.

## 6.5. Análisis de los impactos de la construcción industrializada en la sostenibilidad

El objetivo de este apartado consiste en determinar y cuantificar los efectos de la aplicación de sistemas de construcción industrializada en un proyecto de construcción de viviendas.

Tanto en la revisión de la literatura como en las entrevistas realizadas con expertos, se ha puesto de manifiesto que la aplicación de sistemas de construcción industrializada en la edificación de viviendas presenta efectos positivos en las dimensiones medioambientales y sociales.

Un reto muy importante al que hemos tenido que hacer frente para realizar este análisis es la carencia de datos relacionados con los factores medioambientales y sociales del proyecto. Este reto no es exclusivo de este

proyecto, sino que es un problema común a la mayoría de proyectos de construcción. En la actualidad, las empresas de construcción disponen de información económica muy detallada que permite realizar un análisis en profundidad de los costes de edificación. Sin embargo, disponen de muy poca información sobre los aspectos como el consumo de energía y de agua durante el proceso de construcción, la generación y gestión de residuos de obra, o la accidentabilidad, entre otros.

En los próximos apartados se describen los efectos potenciales de la aplicación de sistemas de construcción industrializada en el proyecto de edificación de viviendas estudiado. Por cada uno de los factores medioambientales y sociales que consideramos que podrían estar afectados por la industrialización, hemos intentado cuantificar los impactos que podrían producirse, con base en los datos disponibles del proyecto. En caso de no disponer de datos, hemos incluido los indicadores necesarios para poder cuantificar los impactos generados.

### 6.5.1. Principales impactos en la dimensión medioambiental

En la dimensión medioambiental, la aplicación de sistemas de construcción industrializada puede generar impactos favorables en los siguientes aspectos:

#### Consumo y gestión de recursos hídricos

La memoria técnica y el presupuesto del proyecto incorporan los siguientes datos relacionados con el consumo y la gestión de recursos hídricos durante la fase de construcción del edificio:

- Provisional de obra de agua. Esta partida corresponde a la instalación del sistema provisional de infraestructuras para que pueda llegar el agua a la obra. No se prevé que esté afectada por la industrialización, dado que se trata de una instalación necesaria.
- Consumo de agua. Esta partida corresponde a los consumos de agua necesarios para la fase de construcción del edificio. Según la información recogida, la aplicación de sistemas de industrialización puede contribuir a la reducción de entre el 20 y el 45% del consumo de agua durante la fase de construcción. En la tabla siguiente, hemos aplicado una reducción del 30%.

Figura 15. Ahorro en el consumo de agua durante el proceso constructivo

Fase de obra	Consumo (m <sup>3</sup> ) <sup>4</sup>	Importe (Eur)
Consumo de agua construcción tradicional	1157,58	4.500
Consumo de agua construcción industrializada	810,30	3.150
<b>Ahorro de consumo de agua total</b>	<b>347,28</b>	<b>1.350</b>

Fuente: Elaboración propia

La industrialización permitiría reducir 347,28 m<sup>3</sup> de consumo de recursos hídricos, y un ahorro de 1.350 Eur. Además de la reducción del consumo total de m<sup>3</sup> de agua, también se podría calcular el consumo de agua por m<sup>2</sup> de edificación. En este caso, pasaríamos de 0,095 m<sup>3</sup> a 0,066 m<sup>3</sup> por cada metro cuadrado construido.

#### Generación y reciclaje de residuos

La revisión de la literatura y los resultados de las entrevistas con expertos ponen de manifiesto que la aplicación de sistemas de construcción industrializada permite reducir la generación de residuos de obra. En este sentido, el análisis de la memoria técnica y el presupuesto del proyecto constructivo ha permitido identificar una partida relacionada con la generación de “escombros”, que corresponde a los residuos generados durante el proceso de construcción. A continuación, se presentan los datos incluidos en el presupuesto de la obra:

Figura 16. Generación de residuos de obra con sistema de construcción tradicional

Fase de obra	Volumen (m <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>	Importe (Eur)
Movimientos de tierras + fundamentación	10.281,96	4.986,77
Estructura	10.281,96	5.946,42
Arquitectura	10.281,96	24.522,56
<b>Total</b>	<b>30.845,88</b>	<b>36.455,75</b>

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con los criterios aplicados en el análisis de los efectos de la construcción industrializada en la estructura de costes, se ha considerado que las fases de obra afectadas por la aplicación de este tipo de sistemas de construcción son la de estructura y arquitectura. Por lo tanto, se ha dejado fuera la fase de movimientos de tierras y fundamentación.

4 Para calcular el número de m<sup>3</sup> consumidos, hemos aplicado un coste por m<sup>3</sup> de 3,8874.

5 El presupuesto prevé el uso de un total de 1.713,66 contenedores de escombros de 6 m<sup>3</sup>.

Según el estudio realizado por Ofori-Kuragu & Osei Kyei (2021), se considera que la generación de residuos de obra se puede reducir entre un 50 y un 90% si se aplican sistemas de construcción industrializada. Los expertos consultados también coinciden en que el uso de sistemas de construcción industrializada puede reducir la generación de residuos hasta un 75% respecto a la construcción convencional. A continuación, hemos recalculado la generación de residuos aplicando un 75% de reducción sobre los datos incluidos en la tabla anterior:

Figura 17. Generación de residuos de obra con sistema de construcción industrializada

Fase de obra	Volumen (m <sup>3</sup> )	Importe (Eur)
Movimientos de tierras + fundamentación	10.281,96	4.986,77
Estructura	2.570,49	1.486,60
Arquitectura	2.570,49	6.130,64
<b>Total</b>	<b>15.422,94</b>	<b>12.604,01</b>

Fuente: Elaboración propia

En este proyecto, la construcción industrializada permitiría reducir la generación de residuos en 15.422,94 m<sup>3</sup> (-50%), y el coste de su gestión en 23.851,74 Eur (-65%). La reducción de la generación de residuos de obra también permitiría reducir el transporte de escombros desde la obra hasta los vertederos.

Además del indicador del volumen total de residuos generados, también podría ser interesante disponer de información sobre la reciclabilidad de los residuos generados. En este sentido, se podría utilizar el indicador “% de residuos recuperados sobre el total de residuos generados”.

### Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero generados por los edificios representan más de un 40% de las emisiones totales. Este tipo de emisiones se producen tanto en la fase de construcción como en la fase de uso del edificio. En la fase de construcción, las emisiones de gases de efecto invernadero se generan a través del uso de maquinaria pesada y equipaciones (camiones, grúas, excavadoras, etc.) que consumen combustibles derivados del petróleo. También se generan emisiones de gases de efecto invernadero para producir la energía eléctrica que se consume en la obra si esta no proviene de fuentes de energía renovable.

En la fase de uso de los edificios, las emisiones de gases de efecto invernadero se producen principalmente por el uso de sistemas de calefacción y aire acondicionado para mantener las viviendas a una temperatura confortable.

Además de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en estas dos fases, también se tiene que tener en cuenta que los materiales que se utilizan para la construcción de edificios pueden llevar emisiones incorporadas (*embodied carbon* en inglés), que se generan en el momento de su extracción y/o producción. Actualmente, ya existen bancos de materiales que describen las emisiones incorporadas por los materiales utilizados en la obra, pero esta información no acostumbra a estar incluida en las memorias de los proyectos de obra.

Según los expertos consultados, el uso de sistemas de construcción industrializada puede contribuir de una forma importante a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. En primer lugar, por la posibilidad de utilizar materiales innovadores con menos emisiones incorporadas. Y en segundo lugar, debido a la mejora de la eficiencia energética de los edificios derivada del uso de soluciones innovadoras de aislamiento térmico y ventilación eficiente.

En este proyecto, no hemos podido cuantificar las emisiones del proceso constructivo por no disponer de datos al respecto. No obstante, proponemos algunos indicadores que podrían utilizarse para medir esta dimensión:

- Toneladas métricas equivalentes de CO<sub>2</sub> generadas durante el proceso de construcción.
- Toneladas de CO<sub>2</sub>eq emitidas por cada € de ingresos netos o m<sup>2</sup> construido.

### Consumo y reciclaje de los materiales (Economía circular)

Varios estudios coinciden al destacar que la aplicación de sistemas de construcción industrializada contribuye a mejorar la eficiencia en el uso de materiales y mejora su reciclabilidad al final de su vida útil.

A día de hoy, es difícil poder cuantificar la reducción del consumo de materiales derivada del proceso de construcción industrializada respecto a la construcción convencional. Para poder realizar esta comparativa, sería necesario disponer del desglose de materiales en cada una de las modalidades de construcción para poder conocer las cantidades de materiales consumidos, y

posteriormente calcular el ahorro que supone la aplicación del sistema de industrialización. Con esta información, también se podría analizar la reciclabilidad de los materiales una vez finalizada su vida útil.

No hemos podido disponer de esta información para este proyecto.

### **Consumo y gestión de energía**

Este proyecto incorpora dos partidas relacionadas con el consumo y la gestión de energía. Son:

- a. Provisional de obra de electricidad. Esta partida corresponde a la instalación del sistema provisional de infraestructuras para que la obra pueda disponer de energía eléctrica. No se prevé que esté afectada por la industrialización, dado que se trata de una instalación necesaria.
- b. Consumo eléctrico. Esta partida incorpora el consumo de electricidad durante el proceso constructivo.

La industrialización de una parte del proceso de la construcción tendría un impacto positivo en el consumo y gestión de la energía. En primer lugar, por una posible reducción del consumo de energía en la obra que, sin embargo, se vería probablemente compensada por un incremento del consumo de energía en el proceso industrial de fabricación de los elementos de obra. En segundo lugar, por el uso de fuentes de producción de energía renovable, que son más fáciles de implementar en un entorno industrial que en una obra tradicional.

El presupuesto de gastos generales del proyecto analizado incluye una partida de consumo eléctrico de 7.500 Eur. Los expertos consultados coinciden en apuntar que trasladar una parte del proceso constructivo a un entorno industrial contribuye a mejorar la eficiencia en el consumo energético y, como consecuencia, se puede generar un ahorro de hasta un 45% en el consumo de energía en la obra.

Sin embargo, no se dispone de suficiente información para poder cuantificar el ahorro neto de energía, dado que no tenemos datos del consumo de energía derivado de la fabricación de los elementos de obra prefabricados.

Finalmente, se proponen algunos indicadores que se podrían utilizar para medir esta dimensión:

- a. Consumo de energía total (MWh de energía consumida)
- b. Consumo de energía de fuentes renovables (MWh de energía consumida)

### **6.5.2. Principales impactos en la dimensión social**

En la dimensión social, la aplicación de sistemas de construcción industrializada puede generar impactos favorables en diferentes aspectos, como por ejemplo la atracción de talento, la mejora de las condiciones laborales de los trabajadores, la seguridad laboral, o la contaminación acústica en el entorno de la obra. A pesar de que la literatura revisada y los expertos consultados coinciden en apuntar estos impactos favorables, no existen datos disponibles del proyecto constructivo que permitan cuantificarlos. Tampoco hemos podido encontrar información que permita estimar las mejoras que genera la aplicación de sistemas de construcción industrializada en estos ámbitos.

A continuación, analizaremos los principales impactos en la dimensión social del proyecto estudiado, y plantearemos algunos indicadores que permitirían cuantificar los impactos favorables de la aplicación de sistemas de construcción industrializada.

#### **Salud y seguridad**

La realización de una parte importante del proceso de construcción de un edificio en una fábrica permite mejorar las condiciones de salud y seguridad de los trabajadores. Estas personas pasan de trabajar en un espacio al aire libre, con un uso limitado de maquinaria y equipaciones, a un espacio interior más controlado en el que pueden disponer de maquinaria y equipaciones que faciliten su trabajo.

Este cambio en el entorno laboral tiene múltiples impactos en los trabajadores. Un posible impacto es la mejora en el confort de las condiciones de trabajo y, como consecuencia, una mejora en la salud de los trabajadores. Otro posible impacto es la reducción de la peligrosidad de la actividad que realizan, y como consecuencia, una disminución de la accidentabilidad en el puesto de trabajo.

A continuación, se proponen algunos indicadores que permitirían medir y cuantificar las mejoras mencionadas anteriormente:

- a. Número de incidentes asociados con accidentes o enfermedades laborales (mensuales, anuales, etc.).
- b. Tiempo perdido por lesiones relacionadas con el trabajo, dolencias, etc. (Porcentaje de tiempo perdido sobre tiempo total de trabajo).

## **Diversidad, igualdad de oportunidades y formación**

El sector de la construcción se caracteriza por un desequilibrio significativo en cuanto al género de las personas que trabajan en él, debido a las condiciones del entorno laboral, así como por emplear a personas con un nivel de formación bajo, ya que la mayoría de las tareas son de tipo manual.

En este sentido, la construcción industrializada posibilita trasladar parte del proceso de construcción a un entorno industrial, donde las condiciones físicas de los trabajadores son menos relevantes, ya que se dispone de maquinaria y equipos que realizan gran parte de las tareas que, de otro modo, se ejecutarían manualmente en la obra. Por lo tanto, la construcción industrializada abre la puerta a la contratación de mujeres en el sector de la construcción.

Asimismo, la reducción de los trabajos manuales y el uso de maquinaria y equipaciones tecnológicamente avanzadas promueven la contratación de perfiles con un nivel de formación más elevado.

A continuación, se proponen algunos indicadores que permitirían medir y cuantificar los efectos mencionados anteriormente:

- a. Número de trabajadores (segmentados por género y edad).
- b. Diferencia salarial entre empleados y empleadas.
- c. Número de horas de formación por empleado (segmentados por categoría y género).

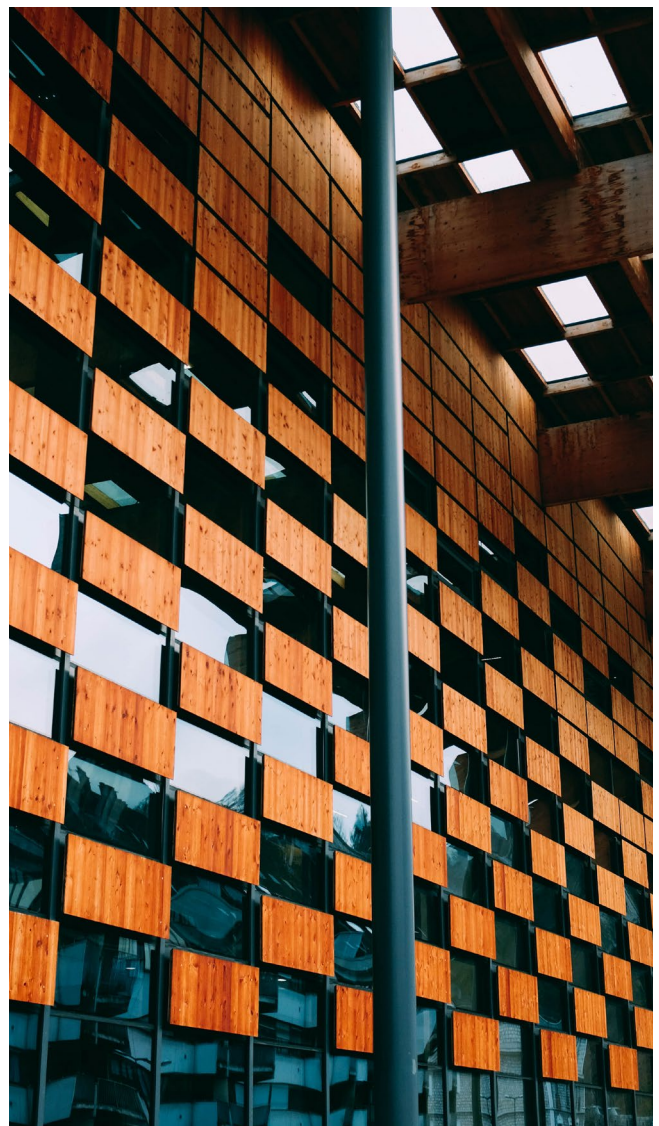
## **Contaminación acústica, calidad del aire, y otros impactos en el entorno de la obra**

Los sistemas de construcción convencionales realizan todos los procesos de edificación directamente en el sitio donde se ubica el edificio. Esto implica un constante traslado de materiales por vehículos, el uso de maquinaria pesada para realizar tareas en la obra y la presencia de profesionales de distintas especialidades, que también se desplazan en vehículos. Algunas de las consecuencias de este movimiento constante en el entorno de la obra incluyen el aumento del ruido o contaminación acústica, la degradación de la calidad del aire y la congestión del tráfico en las áreas cercanas. Por lo tanto, trasladar una parte del proceso de edificación a una fábrica no solo reduce el plazo de ejecución de la obra, sino que también disminuye el tiempo que las personas que viven cerca de la obra están expuestas a estas molestias.

La construcción industrializada también facilita la integración de las tareas de diversos profesionales, que se llevan a cabo en la fábrica. De este modo, se disminuye el número de traslados de materiales y profesionales en el entorno de la obra, y además permite una mejor planificación del transporte de los componentes hacia el sitio de construcción.

A continuación, se proponen algunos indicadores que permitirían medir y cuantificar los efectos mencionados anteriormente:

- a. Nivel de contaminación acústica alrededor de la obra.
- b. Concentración de partículas contaminantes alrededor de la obra.
- c. Número de movimientos de vehículos vinculados a la obra.



## 7. Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de sistemas de construcción industrializada en los proyectos de edificación de viviendas se encuentra en plena fase de desarrollo en el territorio español. Existen varias soluciones que ya se están aplicando en la actualidad, sobre todo centradas en la producción off-site (fuera de la obra) de paneles o módulos de la estructura de los edificios. También se están utilizando otras soluciones que permiten producir e instalar otros elementos del edificio como son los balcones, las chimeneas, o los baños, entre otros.

Aún con varias experiencias prácticas, hay muy pocos estudios que permitan cuantificar tanto los impactos económicos como en el ámbito de la sostenibilidad del uso de soluciones de construcción industrializada en la construcción de edificios de viviendas. Este estudio tiene como objetivo cuantificar los impactos económicos, ambientales y sociales de la aplicación de sistemas de construcción industrializada. En particular, busca determinar y medir los ahorros de costes en la ejecución y promoción de la obra, la reducción de los impactos medioambientales asociados al proceso constructivo y la mejora de las condiciones tanto de los trabajadores como de las comunidades afectadas por el proyecto.

En este sentido, hemos utilizado la metodología del caso de estudio para analizar los impactos mencionados anteriormente en un proyecto real de edificación de 70 viviendas. A partir de los datos del proyecto, la realización de entrevistas con expertos, y la revisión de estudios anteriores sobre esta temática, hemos podido realizar un análisis comparativo entre la realización de dicho proyecto utilizando sistemas de construcción convencionales e industrializados. A continuación, se explican las conclusiones principales.

### 7.1. Conclusiones con relación al impacto económico

El presente caso de estudio señala las potencialidades de la construcción industrializada para mejorar la eficiencia económica del actual proceso de construcción. El objetivo del caso de estudio ha sido conocer el alcance económico de los impactos que tiene la construcción industrializada respecto a la construcción tradicional. El caso plantea la traducción económica de impactos vinculados con factores

como la reducción de plazos, la menor necesidad de mano de obra, la reducción de los residuos, o la mejora de la calidad, entre otros.

El caso nos expone que de los diferentes factores de impacto que se señala que tiene la construcción industrializada, el que puede tener un impacto verdaderamente determinante a nivel económico es la reducción del tiempo.

**El principal impacto de la construcción industrializada es en los gastos indirectos, que corresponden a los gastos generales de la constructora. En estos gastos, el impacto de ahorro potencial estimado es del 32%. Por el contrario, para los gastos del PEM (costes directos), se estima que el potencial de ahorro es del alrededor del 1%. Estos impactos, en su conjunto, pueden suponer un ahorro de entre 2,6 – 2,7% del PEC, y por tanto, de los gastos constructivos que asume la promotora.**

En el caso de los gastos financieros, se ha hecho una simplificación para el presente caso de estudio sobre el importe a financiar y se ha considerado que se financiaba el 80% del gasto de contratación de la constructora. Aun así, se ha observado el impacto relevante que tiene la reducción de plazos en el coste financiero, suponiendo un ahorro del 30% en intereses.

**Se estima que el coste constructivo de este proyecto es de 962€/m<sup>2</sup> con construcción tradicional, mientras que en construcción industrializada puede lograr los 936€/m<sup>2</sup>. Esto supone un diferencial del 2,7%.** Aun así, si tenemos en cuenta el coste global considerando el coste financiero, los valores correspondientes son 982€/m<sup>2</sup> y 950€/m<sup>2</sup>, y por tanto el diferencial sube al 3,3%, que es el ahorro que se estima que la promotora puede llegar a lograr considerando los ahorros tanto en los gastos de construcción como financieros.

Hay que tener en cuenta que en conjunto se han hecho estimaciones prudentes para no sobrevalorar los potenciales ahorros. El caso de estudio no tiene en cuenta otros aspectos que pueden ser relevantes pero difíciles de calcular, como por ejemplo:

- La reducción del plazo de la inversión de la promotora desde la adquisición del suelo y la consiguiente mayor rotación de activos que pueden multiplicar su capacidad inversora y el número de proyectos a desarrollar,
- Las ganancias de productividad de la constructora que pueden hacer aumentar el número de proyectos anuales

- y las consiguientes ganancias económicas,
- La reducción del plazo de entrega de los edificios comporta un mayor rendimiento para el inversor puesto que puede poner las viviendas antes en alquiler, y también para el comprador que puede disponer antes de la vivienda.
  - El potencial de tener préstamos en mejores condiciones fruto de la mayor facilidad para cumplir criterios de sostenibilidad, o
  - El impacto de la mejora del entorno laboral que puede alterar la atracción de mano de obra y contribuir a solucionar el reto de mantenimiento de talento que limita el desarrollo de proyectos constructivos.

**El potencial ahorro se ha cuantificado alrededor del 3%. Sin embargo, es importante considerar que, dada la situación actual del sector, especialmente en relación con la edad media de los profesionales y la previsión de jubilación, si no se produce una (poco probable) sustitución de la mano de obra que se jubila por relevo generacional, la escasez de trabajadores podría hacer inviable la construcción tradicional, situando la industrialización como la única alternativa.**

## 7.2. Conclusiones con relación a los impactos medioambiental y social

Este estudio también tenía como objetivo identificar y cuantificar los principales impactos de la construcción industrializada en el medio ambiente y la sociedad. En este sentido, existe una falta importante de información y datos sobre aspectos medioambientales como las emisiones de gases de efectos invernadero debidas al proceso de construcción del edificio, el consumo y reciclaje de materiales, o la generación y gestión de residuos, entre otros. También es complicado disponer de información y datos sobre aspectos sociales como la salud y seguridad de las personas que trabajan en la obra, o la contaminación acústica generada por los trabajos realizados.

Respecto al ámbito medioambiental, hemos identificado y cuantificado posibles impactos en el consumo y gestión de recursos hídricos y en la generación y reciclaje de residuos. **En el caso del consumo y gestión de recursos hídricos, existe un claro consenso de que el uso de soluciones de construcción industrializada permite reducir el consumo de agua en la obra entre un 20 y 45%. En el caso de estudio analizado, esto supondría una reducción de entre 231,5 y 520,9 m<sup>3</sup> de agua.**

La generación de residuos de obra es una externalidad negativa importante del proyectos de construcción de edificios, no solo por la generación de residuos propiamente, sino porque estos residuos se tienen que transportar hasta un vertedero. Por lo tanto, el impacto generado es doblemente negativo. **En el caso de estudio analizado, la aplicación de la construcción industrializada permitiría reducir la generación total de residuos a la mitad, pasando de 30.845,88 a 15.422,94 m<sup>3</sup>. Y si tenemos en cuenta solo las fases del proceso de construcción en las que se aplican, principalmente, las soluciones de construcción industrializada (estructura y arquitectura), la generación de residuos se reduce en un 75%.**

Esta reducción en la generación de residuos también implicaría una reducción en los costes directos de la obra como se explica en el apartado anterior.

Además, la aplicación de la construcción industrializada también puede tener un impacto positivo en las emisiones de gases de efecto invernadero, en el consumo y reciclaje de materiales, y en el consumo y gestión de energía.

**Respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, los expertos consideran que la prefabricación de los componentes off-site puede reducir entre un 40 y 60% las emisiones derivadas de la construcción de los edificios. Aun así, también avisan de que el uso de materiales altamente contaminantes como el hormigón dificulta la mejora de la huella de carbono.**

A día de hoy, es difícil poder cuantificar la reducción del consumo de materiales derivado del proceso de construcción industrializada con respecto a la construcción convencional. Algunos estudios hablan de una reducción del consumo de materiales del alrededor del 35% en proyectos que han aplicado soluciones de construcción industrializada. También apuntan que el 90% de los materiales consumidos en este tipo de soluciones son reciclables al final de su vida útil.

Respecto al consumo y gestión de la energía, consideramos que los ahorros más importantes se producen en la fase posterior a la construcción del edificio, y son derivados de la mejora en la eficiencia energética de los mismos. Por este motivo, no se ha incluido en los cálculos de impacto medioambiental en el proceso de edificación.

En el ámbito social destacan los impactos de la construcción industrializada sobre los trabajadores y las comunidades en torno a la obra. **En cuanto a los trabajadores, el traspaso de una parte importante del proceso constructivo a una fábrica supone una**

**mejora considerable de las condiciones de confort y seguridad laboral.** Los expertos coinciden en que esta mejora en las condiciones laborales puede tener efectos positivos en la salud de los trabajadores y disminuir los niveles de accidentalidad del sector.

**La construcción industrializada también contribuye a mejorar los niveles de diversidad de género y de igualdad de oportunidades en el sector de la construcción, que históricamente ha estado dominado por hombres. Además, favorece la contratación de trabajadores con niveles de formación más altos y un nivel retributivo superior.**

Finalmente, la realización de una parte importante de los procesos constructivos en un entorno fabril permite reducir tanto el plazo de finalización de la obra como las actividades que se realizan *in situ*. Así, se reducen las molestias sobre las personas que viven o trabajan cerca de la obra.

Para ayudar a completar la recogida de información y datos para cuantificar los aspectos medioambientales y sociales mencionados anteriormente, hemos propuesto una lista de indicadores que se incluyen en la tabla siguiente:

Figura 18. Lista de indicadores de los factores clave de sostenibilidad

Ámbitos	Indicadores
Generación y reciclaje de residuos	- % de residuos recuperados sobre el total de residuos generados
Emissiones de gases de efecto invernadero	- Toneladas métricas equivalentes de CO <sub>2</sub> generadas durante el proceso de construcción. - Toneladas de CO <sub>2</sub> eq emitidas por cada € de ingresos netos o m <sup>2</sup> construido.
Consumo y gestión de energía	- Consumo de energía total (MWh de energía consumida) - Consumo de energía de fuentes renovables (MWh de energía consumida)
Salud y seguridad	- Número de incidentes asociados con accidentes o dolencias laborales (mensuales, anuales, etc.). - Tiempo perdido por lesiones relacionadas con el trabajo, dolencias, etc. (Porcentaje de tiempo perdido sobre tiempo total de trabajo).
Diversidad, igualdad de oportunidades y formación	- Número de personas trabajadoras (segmentados por género y edad). - Diferencia salarial entre trabajadores hombres y mujeres. - Número de horas de formación por empleado (segmentados por categoría y género).
Contaminación acústica, calidad del aire, y otros impactos en el entorno de la obra	- Nivel de contaminación acústica alrededor de la obra. - Concentración de partículas contaminantes alrededor de la obra. - Número de movimientos de vehículos vinculados a la obra.

Fuente: Elaboración propia

## 7.3. Posibles recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos y en los principales retos de la aplicación de los sistemas de construcción industrializada en la construcción de edificios de viviendas, incluimos varias recomendaciones que creemos que podrían ser útiles para aumentar el uso de este tipo de sistemas de construcción innovadores.

### a. Adaptar los sistemas de financiación.

Uno de los principales desafíos de la construcción industrializada es la adaptación de los sistemas de financiación a este nuevo modelo de construcción. Actualmente, la mayoría de entidades financieras y organismos de certificación continúan operando según los esquemas de construcción tradicional, en los que las disposiciones de capital se acostumbran a realizar conforme avanza la obra, en función de hitos de construcción visibles y verificables *in situ*.

Es necesario adaptar este sistema de financiación a la naturaleza de la construcción industrializada, en la que una gran parte del proceso se realiza en una fábrica antes de su colocación en la obra, lo cual complica la validación de los adelantos por parte de las entidades financieras y organismos de acreditación.

### b. Simplificar los procesos administrativos.

Algunos promotores señalan que los procedimientos administrativos para validar elementos prefabricados son más complejos que los aplicados a las construcciones convencionales, a pesar de que los procesos industrializados permiten un mejor control de calidad en fábrica. Para facilitar la aplicación de sistemas de construcción industrializada es necesario mejorar los sistemas de certificación de los componentes prefabricados, y simplificar los procesos administrativos para que las empresas de promoción tengan más incentivos para utilizar este tipo de soluciones.

### c. "Introducir una puntuación adicional para las empresas promotoras, que apliquen soluciones de construcción industrializada en concursos de vivienda asequible, promovida por el sector público".

Los resultados obtenidos demuestran que la construcción industrializada permite reducir considerablemente los plazos de construcción y entrega de proyectos de construcción de viviendas. Esta es una ventaja muy importante si tenemos en cuenta que existe una necesidad de oferta de nuevas viviendas a precios asequibles, y que las

administraciones públicas están haciendo un esfuerzo muy importante para construir nuevas viviendas para colectivos desfavorecidos en régimen de alquiler asequible.

Además, hay un consenso generalizado en que el uso de soluciones de construcción industrializada tiene impactos medioambientales y sociales positivos. Entre ellos, se destacan la reducción de la generación de residuos de obra, la disminución de la huella de carbono e hídrica durante la fase de construcción y la mejora de las condiciones laborales, de salud y de seguridad de los trabajadores, entre otros.

Por estos motivos, creemos que sería necesario que las administraciones públicas añadiesen cláusulas en las licitaciones de obras que obliguen, o incentiven, a las empresas promotoras a aplicar sistemas de soluciones de construcción industrializada.

#### **d. Mejorar los sistemas de recogida de información y datos relacionados con los ámbitos medioambiental y social.**

Un desafío muy importante que enfrenta el sector constructor consiste en medir los aspectos críticos de los proyectos de edificación vinculados a la sostenibilidad. En la actualidad, todavía resulta muy complicado poder recoger información medioambiental a nivel de proyecto de edificación, como, por ejemplo, las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el proceso de construcción, la generación y reciclaje de residuos, o el consumo de energía y agua, entre otras variables. También es casi inexistente la información y los datos sobre aspectos sociales relacionados con la salud y seguridad de los trabajadores, la diversidad, la igualdad de oportunidades e inclusión laboral, o la contaminación acústica y la contaminación del aire en el entorno de la obra.

En este sentido, creemos que sería necesario establecer una lista reducida de indicadores que se tuvieran que incluir en la memoria técnica del proyecto de edificación, y que hicieran referencia a los aspectos críticos en materia de sostenibilidad. Estos indicadores se podrían extraer de la tabla que hemos incluido en el apartado de conclusiones, y otros marcos de referencia incluidos en el estudio “Cuadro de Mando Integral Sostenible por el sector inmobiliario”, realizado por Bastida y Verdugo (2023).

#### **e. Estandarizar los edificios para incrementar la repetibilidad en el diseño y fabricación de los módulos y otros componentes del edificio.**

Varios expertos entrevistados coinciden en que un factor clave para que las empresas de construcción

industrializada inviertan en nuevas tecnologías y logren que estos sistemas sean más eficientes y menos costosos es aumentar el volumen de pedidos de cada uno de los componentes prefabricados. Para conseguirlo es importante que las empresas de promoción y los despachos de arquitectos dispongan de programas de software y de inventarios de componentes prefabricados que pueden utilizar en sus proyectos de construcción de edificios.

También se podrían crear centros de construcción en aquellas regiones con suficiente demanda, lo que contribuiría aún más a mejorar la productividad y eficiencia del sector.

#### **f. Introducir incentivos fiscales por proyectos constructivos que utilicen sistemas de construcción industrializada.**

La introducción de incentivos fiscales para los proyectos que utilicen sistemas de construcción industrializada es clave para acelerar la transición hacia un sector más eficiente y sostenible. Estos incentivos, aplicados a tasas e impuestos, como las tasas de licencias de obra o la AJD, pueden fomentar la inversión en tecnologías innovadoras, reducir costes para los promotores, e incentivar prácticas constructivas con menor impacto ambiental. Además, contribuirían a mejorar la productividad, reducir los plazos de ejecución y potenciar la industrialización como herramienta para abordar el déficit de vivienda de manera más rápida y eficiente.

#### **g. Creación de HUBs especializados en construcción industrializada.**

La optimización del sistema de construcción industrializada se logrará, con el tiempo, mediante HUBs de industrialización cercanos a los grandes centros de producción de viviendas, donde exista una demanda suficientemente continua. Posiblemente, cerca de las grandes ciudades. Esto permitirá una sustancial reducción de costes, al disponer de un número importante de los proveedores industriales, de forma cercana. Esto, como en otros sectores (automóvil, farmacéutico, etc.), permitirá optimizar la eficiencia económica y medioambiental (logística, coordinación, stocks, etc.).

## 8. Bibliografía

Aedas Homes (2021), *VIVIENDA INDUSTRIALIZADA SOSTENIBLE*, <https://offsite.aedashomes.com/wp-content/uploads/2021/02/Informe-de-vivienda-industrializada-2020.pdf>

Bastida, R. y Verdugo, P. (2024). *Quadre de Comandament Integral Sostenible pel sector immobiliari*. Càtedra d'Habitatge Digne i Sostenible UPF-BSM, <https://www.bsm.upf.edu/documents/2024-upf-bsm-quadre-comandament-integral-sostenible-sector-immobiliari-ca.pdf>

Bernat, S. y Bernat, J. (2022) El precio de la vivienda, el coste de construcción y el valor del suelo. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya – ITeC. [https://itec.cat/wp-content/uploads/2022/06/ArticleCostosConstruccio\\_CAST\\_compressed.pdf](https://itec.cat/wp-content/uploads/2022/06/ArticleCostosConstruccio_CAST_compressed.pdf)

De Wolf C., Pomponi F., Moncaster A. (2017), *Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice*, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.075>

Faghirinejadfard, A., Mahdiyar, A., Marsono, A. K., Mohandes, S. R., Omrany, H., Tabatabaee, S., & Tap, M. M. (2016). Economic comparison of industrialized building system and conventional construction system using building information modeling. *Journal Teknologi*, 78(1).

Jansen van Vuuren, T., & Middleton, C. (2020). *Methodology for quantifying the benefits of offsite construction.*, <https://orcid.org/0000-0002-9672-0680>

McKinsey & Company (2024), *Delivering on construction productivity is no longer optional*, <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer-optional>

Ministry of Housing, Communities & Local Government of the UK Government (2019), *Modern Methods of Construction working group: developing a definition framework*, [https://www.cast-consultancy.com/wp-content/uploads/2019/03/MMC-I-Pad-base\\_GOVUK-FINAL\\_SECURE.pdf](https://www.cast-consultancy.com/wp-content/uploads/2019/03/MMC-I-Pad-base_GOVUK-FINAL_SECURE.pdf)

OCH - Asociación Española de Construcción Industrializada (2023). *Guía de la construcción industrializada*, [https://www.aeci.info/cms/files/OCH\\_Guia\\_Construccion\\_Industrializada\\_TOC.pdf](https://www.aeci.info/cms/files/OCH_Guia_Construccion_Industrializada_TOC.pdf)

Ofori-Kuragu, J. K., & Osei-Kyei, R. (2021). *Mainstreaming pre-manufactured offsite processes in construction—are we nearly there?* *Construction Innovation*, 21(4), 743–760.

Rahman, M. M. (2014). Barriers of implementing modern methods of construction. *Journal of management in engineering*, , 69-77.

Rocha, P. F., Ferreira, N. O., Pimenta, F., & Pereira, N. B. (2023). *Impacts of prefabrication in the building construction industry*. *Encyclopedia*, 3(1), 28–45. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010003>

Salah M., Elmasry M, Mashhour I., Amer N. (2023), *A framework for assessing sustainability of construction projects*, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100626>

Sotorrio Ortega, G., Cobo Escamilla, A., & Tenorio Ríos, J. A. (2023). *Industrialized construction and sustainability: A comprehensive literature review*. *Buildings*, 13(11), 2861. <https://doi.org/10.3390/buildings13112861>

Wu, Z., Luo, L., Li, H., Wang, Y., Bi, G., & Antwi-Afari, M. F. (2021). *An analysis on promoting prefabrication implementation in construction industry towards sustainability*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11493. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111493>

# 9. Anexos

## Glosario

Los principales conceptos de la construcción industrializada son:

**Prefabricación *offsite*:** producción de componentes de construcción en una fábrica o taller fuera del lugar de obra, bajo condiciones controladas, con transporte posterior para el montaje in situ.

**Building Information Modeling (BIM):** el BIM crea una representación digital del edificio y permite a todos los equipos trabajar en un mismo modelo, desde la fase de diseño hasta el ensamblaje y el mantenimiento. Esto mejora la colaboración, evita errores y facilita el control de calidad, puesto que los componentes se pueden probar en simulaciones antes de la fabricación.

**Procesamiento Digital y Fabricación Asistida por Computadora (CAD/CAM):** uso de software para diseñar (CAD) y fabricar (CAM) componentes de construcción de forma precisa y personalizada.

**Estandarización y Control de Calidad:** la construcción industrializada se basa en la producción de componentes estandarizados que siguen especificaciones rigurosas. Esta estandarización permite una mayor consistencia en la calidad del producto final y reduce la variabilidad, hecho que resulta en edificios de calidad uniforme y con menor necesidad de reprocesamientos. Al fabricarse en un entorno controlado, los componentes están menos expuestos a las inclemencias del tiempo y otros factores que pueden afectar a la calidad.

**Diseño para la Fabricación y el Montaje (DfMA):** el DfMA es un enfoque que optimiza los componentes para su fabricación y montaje. Este proceso de diseño busca minimizar la complejidad de los elementos, permitiendo que sean fabricados de forma eficiente y montados rápidamente en la obra. Esta estrategia reduce costes de producción, evita problemas estructurales y simplifica la instalación.

**Automatización y Robótica:** el uso de maquinaria automatizada y robótica en la fabricación de componentes industrializados incrementa la precisión y la eficiencia. Al eliminar la dependencia de algunas tareas manuales, se reduce el tiempo de ejecución y el riesgo de errores, consiguiendo un proceso más rápido y con un menor coste laboral en la producción de componentes.

**Lean Construction:** filosofía de gestión aplicada a la construcción para optimizar recursos, eliminar residuos y mejorar la eficiencia en todas las fases del proyecto.

**Edificios Reversibles y Desmontables:** concepto de edificios diseñados para que se puedan desmontar y reutilizar en el futuro, permitiendo la recuperación de materiales y componentes.

**Modelo de Proyecto Integrado (IPD):** estrategia contractual que promueve la colaboración entre todos los agentes del proyecto, incluyendo diseñadores, fabricantes y constructores, para optimizar los resultados.

**Métodos Modernos de Construcción (MMC):** concepto que alcanza los diferentes sistemas y tecnologías a partir de los cuales se aplica la construcción industrializada en un proyecto.

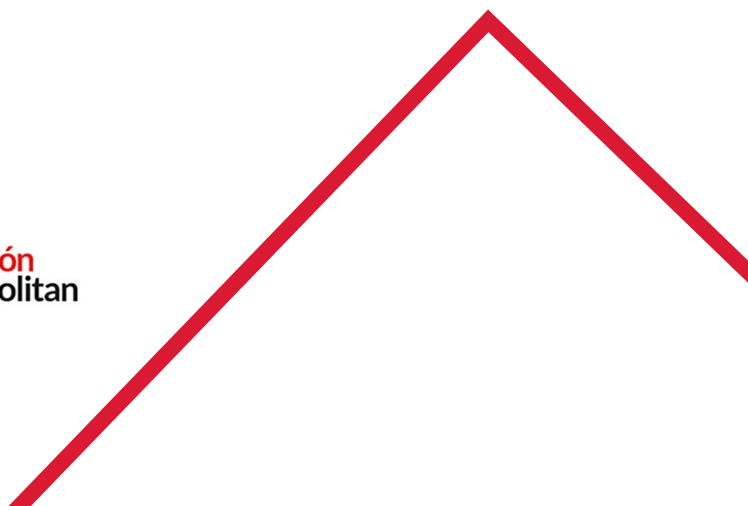
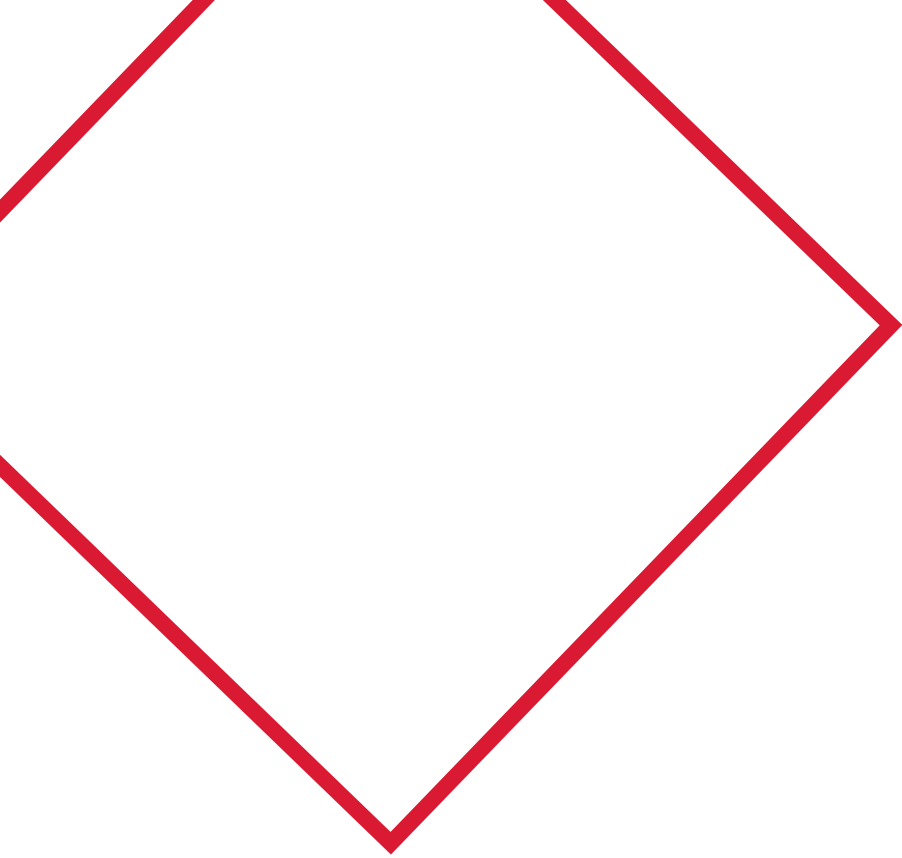
Los métodos modernos de construcción se pueden clasificar en varias categorías:

- **Módulos estructurales 3D:** se refiere a aquellos sistemas basados en la fabricación de unidades volumétricas tridimensionales. Se conocen también como construcción modular. Estos módulos pueden incluir desde estructuras básicas hasta módulos completos, listos para ser instalados directamente en la obra.
- **Componentes estructurales 2D:** se refiere a elementos planos, como muros, techos o fachadas, que se fabrican fuera del lugar de obra y se transportan para ser montados. Estos componentes tienen capacidad estructural y su ensamblaje en la obra genera estructuras tridimensionales. Los paneles 2D pueden tener una elevada definición e incluir aislamientos, cierres, y acabados interiores o exteriores.
- **Prefabricación de componentes primarios estructurales:** incluye componentes lineales individuales como vigas, columnas, y otros elementos estructurales que no forman un sistema completo pero que se complementan con otros elementos estructurales en el sitio de obra.
- **Componentes prefabricados no estructurales:** componentes que no forman parte de la estructura principal del edificio. Pueden ser componentes volumétricos 3D como lavabos, cocinas y equipaciones de instalaciones; o componentes en paneles 2D como fachadas, cubiertas, componentes de distribución de equipaciones, componentes de compartimentación, conjunto de puertas, etc.

- **Productos sustitutivos tradicionales:** materiales y componentes de construcción que, a pesar de no formar parte de un sistema prefabricado integral, han sido diseñados para simplificar y agilizar el proceso de construcción en comparación con los materiales tradicionales (ej. paneles de tiza laminada – *pladur*).
- **Procesos sustitutivos tradicionales:** se trata de métodos innovadores aplicados directamente en obra, como el uso de realidad aumentada, tecnología BIM o maquinaria autónoma para mejorar la eficiencia y precisión de los procesos *in situ*.







Con la colaboración de:

