

02-006

PROPOSAL FOR THE INDUSTRIALIZATION OF PREFABRICATED HOMES USING MARITIME CARGO CONTAINERS

Cerezo Narváez, Alberto ⁽¹⁾; López Molina, Luis ⁽¹⁾; Gómez Butrón, Blas ⁽¹⁾; Otero Mateo, Manuel ⁽¹⁾; Pastor Fernández, Andrés ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Universidad de Cádiz

The growing interest in sustainability, efficiency and digitalization in the residential construction sector motivates research into the use of maritime cargo containers to build modular, sustainable, and efficient housing in Spain. Based on the demand for configurable and flexible housing, legal, design, industrial and technological criteria are studied to develop a trio of housing models of one, two and three bedrooms, complying with the applicable regulations and standards, using maritime cargo containers as the basis. The design proposals are adapted to the requirements of the Technical Building Code and the UNE-EN 1647 standard on habitable recreational vehicles and mobile residences, allowing them to be considered both real estate and mobile assets. The reuse of maritime cargo containers, modular, industrialized, and prefabricated construction, together with the use of recycled and recyclable materials, promote sustainability and the circular economy. In addition, the implementation of digital technologies and the adoption of sustainable design principles and energy efficiency reduce environmental impact and improve livability, safety, and functionality to its inhabitants. In summary, this proposal demonstrates the feasibility of using maritime cargo containers in the construction of modular, scalable, sustainable, and efficient housing, contributing to a better future.

Keywords: home prefabrication; housing industrialization; real estate properties; mobile properties; maritime cargo containers

PROPUESTA DE INDUSTRIALIZACIÓN DE VIVIENDAS PREFABRICADAS CON CONTENEDORES MARÍTIMOS DE CARGA

El creciente interés por la sostenibilidad, eficiencia y digitalización en el sector de la construcción residencial motiva la investigación sobre el uso de contenedores marítimos para construir viviendas modulares, sostenibles y eficientes en España. A partir de la demanda de viviendas configurables y flexibles, se estudian criterios legales, de diseño, industriales y tecnológicos para desarrollar una terna de modelos de vivienda de uno a tres dormitorios, cumpliendo con las regulaciones aplicables, utilizando como bases contenedores marítimos. Las propuestas de diseño se adaptan a los requisitos del Código Técnico de Edificación y de la norma UNE-EN 1647 sobre vehículos habitables de recreo y residencias móviles, permitiendo que puedan ser consideradas tanto bienes inmuebles como bienes móviles. La reutilización de contenedores marítimos y la construcción modular, industrializada y prefabricada, junto con el uso de materiales reciclados y reciclables, promueven la sostenibilidad y economía circular. Además, la implementación de tecnologías digitales y la adopción de principios de diseño sostenible y eficiencia energética reducen el impacto ambiental y mejoran la habitabilidad, seguridad y funcionalidad a sus habitantes. En resumen, esta propuesta demuestra la viabilidad de utilizar contenedores marítimos en la construcción de viviendas modulares, escalables, sostenibles y eficientes, contribuyendo a un futuro mejor.

Palabras clave: prefabricación de viviendas; industrialización de viviendas; bienes inmuebles; bienes móviles; contenedores marítimos

Agradecimientos: Al proyecto "LADERA: Large-scale Assessment of plus-energy Districts through Escalation and Replicability in Andalusia" (US-1380863) y al proyecto "MedEcoSuRe - Mediterranean University as Catalyst for Eco-Sustainable Renovation" (A_B.4.3_0218).



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Durante las últimas cuatro décadas, el sector de la construcción ha desempeñado un papel crucial como motor en el crecimiento económico y la prosperidad en general a nivel mundial, en regiones dispares como América (Choy, 2011), Asia (Chiang et al., 2015) y Europa (Escavy et al., 2020). En España, a pesar de las secuelas de la crisis post-burbuja inmobiliaria en la primera década del siglo XXI (Fuentes y González, 2013), el sector sigue siendo el segundo mayor contribuyente al producto interior bruto (PIB), solo superado por el sector turismo (Uppink y Soshkin, 2019). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE), la contribución del sector de la construcción al PIB de España, medida en términos de valor agregado bruto (VAB), fue del 20% hace 20 años (2001), aumentando al 30% durante la burbuja inmobiliaria (2008), pero cayendo hasta el 10% en la actualidad (2021). Esta pérdida de influencia hace que, a pesar de que en los últimos 20 años el PIB haya crecido un 12% descontando inflación (un 72% sin descuento), el VAB del sector ha decrecido un 28% descontando inflación (creciendo solo un 11% sin descuento).

En términos de productividad, medida en VAB por trabajador empleado, la situación del sector es bastante desigual. Si bien en obra civil la productividad casi se ha triplicado (creciendo un 184% descontando inflación), en edificación, que representa entre el 80% y el 90% del sector (Cerezo et al., 2021), se ha mantenido estancada (incluso decreciendo un 1% descontando inflación). En términos de empleabilidad, el sector ha venido empleando al 11-12% de la población ocupada hasta la llegada de la crisis de la burbuja inmobiliaria (2008), empezando a decrecer hasta alcanzar el 6% en la actualidad (2021). Hoy en día, a pesar del aumento en el número de licitaciones y promociones inmobiliarias una vez finalizada la pandemia por COVID-19, el sector se está encontrando con graves problemas de contratación, debido a la falta de relevo generacional y a la ausencia de formación específica (Araya, 2022).

A pesar de su impacto en la sociedad y la economía, medido en parámetros relacionados con el bienestar, la cohesión social y la calidad de vida (empleabilidad directa e indirecta, crecimiento empresarial, etc.), el sector de la construcción ha sido lento en adoptar tecnologías innovadoras y prácticas modernas, a menudo quedándose atrás en comparación con otros sectores en términos de eficiencia, productividad y sostenibilidad (Yang et al., 2022). De hecho, solo la agricultura se encuentra por debajo del sector de la construcción en términos de transformación digital (Gandhi et al., 2016). Esta pérdida de competitividad ha resultado en numerosos desafíos, como retrasos y/o sobrecostes en los proyectos, con menos del 30% terminando por debajo del 110% del presupuesto estimado y del 25% acabando antes del calendario previsto (KPMG International, 2015), ineficiencia energética, con la mitad del parque de viviendas de España con valoración media E (Idealista, 2021), e impactos ambientales negativos.

En Europa, el aumento de la urbanización y el crecimiento demográfico intensifican cada vez más la demanda de viviendas e infraestructuras (European Environment Agency, 2020), lo que lleva a la búsqueda de soluciones innovadoras para abordar estos desafíos y transformar el sector en una industria más sostenible y eficiente (Hussin et al., 2013). En este contexto, la modularización, industrialización y prefabricación de soluciones de vivienda residencial han sido abordadas como un enfoque prometedor (Viana et al., 2017), al ofrecer ventajas como menor tiempo de construcción, menores costos, mayor control de calidad, menor generación de residuos y mayor sostenibilidad (Minunno et al., 2018; Molavi y Barral, 2016). Este enfoque consiste en diseñar y fabricar unidades funcionales estandarizadas en entornos de fábrica controlados, que luego se ensamblan en el lugar una vez transportadas (Luo et al., 2021), ofreciendo flexibilidad y personalización mientras se cumplen estrictos estándares de rendimiento ambiental y energético (Azis et al., 2012).

La industrialización y/o prefabricación de viviendas es un objetivo para los agentes edificatorios (Mun et al., 2013). Para abordar las barreras y desafíos actuales, es esencial educar a las partes interesadas, incluidos proyectistas, técnicos redactores, directores de obra y de ejecución, contratistas y usuarios finales (Cerezo et al., 2021), sobre los numerosos beneficios de esta construcción y disipar conceptos erróneos sobre sus limitaciones. Su adopción generalizada ha sido frenada por barreras como la resistencia al cambio, el escepticismo hacia las tecnologías innovadoras y la pérdida de artesanía percibida al dejar de usar técnicas tradicionales (Ovando et al., 2016), así como la necesidad de exploración de nuevas soluciones arquitectónicas y constructivas (Kirschke y Sietko, 2021). En este contexto, el alcance para la acción en este sector ofrece suficientes oportunidades de negocio, impulsada por una combinación de factores como la economía circular (Benachio et al., 2020) y la industria 4.0 (construcción 4.0) (Maskuriy et al., 2019).

Las viviendas realizadas a partir de contenedores de carga marítimos han surgido como una alternativa innovadora a la construcción convencional (Sljivic et al., 2021), ofreciendo un enfoque de construcción que se adapta a las cambiantes necesidades y expectativas de los clientes. Estas viviendas, que aprovechan la estructura y durabilidad de los contenedores, permiten la personalización y adaptación de los espacios a diferentes entornos y contextos (Zavodovski et al., 2018), lo que las hace especialmente atractivas en el mercado inmobiliario actual, al adoptar prácticas y tecnologías de construcción sostenibles que fomentan una cultura de innovación y colaboración dentro de la industria (Xu et al., 2020). Por ello, la categorización de estas viviendas como bienes inmuebles o bienes móviles tiene implicaciones legales, de diseño y constructivas (AbuMoeilak y Taleb, 2018).

En términos legales, su clasificación como bien inmueble implica que la vivienda se considere parte integrante del terreno (Buitelaar y Segeren, 2011), lo que implica requisitos en cuanto a su construcción, uso y mantenimiento. Por otro lado, su clasificación como bien móvil implica que puede ser desplazada, sin estar sujeta a las mismas restricciones legales (Choma y Kgarabjang, 2016), lo que abre posibilidades en cuanto a su adaptabilidad a diferentes contextos. En España, las viviendas consideradas como bien inmueble tienen que cumplir con el artículo 334 del Código Civil, con el Código Técnico de Edificación (CTE) (Government of Spain, 2006), con los planes generales de ordenación urbana y con otras normativas aplicables. Por el contrario, si estas son consideradas bien móvil, tienen que cumplir con el artículo 335 del Código Civil, así como con la norma UNE-EN 1647:2019 (Asociación Española de Normalización, 2019), al no ser considerados permanentes según la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) (Government of Spain, 1999).

Desde el punto de vista del diseño, la categorización como bien inmueble o bien móvil influye en aspectos como la modulación, instalaciones, emplazamiento y ensamblaje de los contenedores (Zhang et al., 2014). Por ejemplo, las viviendas consideradas como bienes móviles, han de asegurar que su diseño permita la movilidad y desmontaje de los módulos, facilitando su transporte y adaptación a diferentes situaciones (Choi y Cho, 2014), además de poder revertir el lugar a su condición previa. En cambio, las consideradas como bienes inmuebles, han de garantizar el cumplimiento de las normativas aplicables (Caldera y Johansson, 2013), en términos de seguridad (estructura e incendios), habitabilidad (salud, ahorro de energía y protección contra el ruido) y funcionalidad (uso y accesibilidad).

En cuanto a la construcción, la categorización como bien inmueble o bien móvil impacta en los materiales, técnicas y procesos empleados en su producción y montaje (Ganiyu et al., 2015). Mientras que las consideradas como bien inmueble requieren, por lo general, mayor intervención en el terreno y utilización de procesos más tradicionales (acondicionamiento del terreno, cimentación, alcantarillado,...), las consideradas como bien móvil prestan una mayor atención a la prefabricación, modularidad y optimización de componentes (Xue et al., 2018). Además, estas deben permitir poder ser desplazadas y reubicadas, sin comprometer su integridad estructural y funcionalidad (Baghchesaraei et al., 2016).

La modularidad y prefabricación asociados a las viviendas construidas con contenedores marítimos ofrecen considerables beneficios en términos de eficiencia y versatilidad, lo que posibilita que la construcción se realice en un ambiente controlado, disminuyendo los plazos y gastos vinculados a la edificación (Jaillon y Poon, 2008). Por tanto, la industrialización del proceso se convierte en un elemento crucial para asegurar la competitividad y factibilidad de dichas alternativas en el ámbito inmobiliario (Liu y Ying, 2009). El panorama actual del mercado de viviendas utilizando contenedores es variado, abarcando un extenso espectro de soluciones que comprenden desde residencias unifamiliares hasta conjuntos habitacionales en altura (Johnston et al., 2014). Esta adaptabilidad permite diseñar espacios de diferentes tamaños y configuraciones (Pirinen y Tervo, 2020), lo que brinda una gran variedad de opciones para satisfacer sus necesidades.

La elección de materiales y técnicas constructivas es otro aspecto clave en el desarrollo de viviendas realizadas a partir de contenedores marítimos (Madkour, 2017), al influir directamente en la calidad, durabilidad y sostenibilidad de las soluciones habitacionales. La reutilización de contenedores de carga marítimos como base para la construcción de viviendas presenta oportunidades significativas en términos de sostenibilidad y eficiencia, ya que estos elementos cuentan con una estructura robusta y resistente (Bertolini y Guardigli, 2020), que puede ser adaptada y personalizada de acuerdo con las necesidades específicas de cada proyecto. Además, la utilización de materiales reciclados y de bajo impacto ambiental en el proceso constructivo puede contribuir a reducir la huella de carbono de las viviendas y mejorar su desempeño energético (Porrás-Amores et al., 2021).

2. Objetivos

Esta comunicación se inserta en una investigación en curso más amplia, que pretende:

- Evaluar la industria de la construcción, examinando los desafíos y oportunidades que enfrenta la industria (eficiencia, sostenibilidad, rendimiento general,...).
- Investigar los beneficios (plazos, costes, requisitos) de la construcción modular, analizando las ventajas de los sistemas modulares, industrializados y prefabricados.
- Identificar las mejores prácticas, explorando proyectos exitosos de construcción modular, con el objetivo de identificar lecciones aprendidas y enfoques innovadores.
- Comprender las barreras de adopción, investigando los principales impulsores y barreras para adoptar métodos de construcción modular.
- Desarrollar estrategias para superar obstáculos, proponiendo recomendaciones para promover la adopción de métodos de construcción modular en la industria.
- Evaluar el impacto ambiental, realizando una evaluación del ciclo de vida para comparar el rendimiento ambiental de los sistemas modulares frente a los convencionales.
- Explorar las implicaciones en la fuerza laboral, investigando el impacto de la construcción modular en la fuerza laboral (habilidades requeridas, capacitación,...).
- Evaluar el rendimiento a largo plazo, evaluando la durabilidad de los sistemas modulares en comparación con los tradicionales (mantenimiento, resiliencia,...).
- Optimizar los procesos de diseño, estudiando el potencial CAD, BIM y de otras tecnologías innovadoras para optimizar el diseño, construcción y gestión.
- Fomentar la colaboración, promoviendo colaboraciones y asociaciones entre partes interesadas (arquitectos, ingenieros, contratistas, fabricantes, agencias reguladoras...).
- Informar de políticas y prácticas, proporcionando información y recomendaciones para legisladores y profesionales promover la transformación sostenible del sector.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo sentar una base para desarrollar un plan de industrialización que permita a una empresa constructora/promotora que quiera mejorar la eficiencia en su producción y expandir la gama de soluciones de vivienda ofrecidas. Para ello, se abordarán aspectos legales, de diseño y construcción relacionados con la categorización como bienes inmuebles o móviles, y se establecerán estrategias para adaptar los procesos a las necesidades de sus clientes y al marco normativo legal:

1. Analizar y comprender las particularidades de las viviendas prefabricadas y su relación con la legislación y normativa aplicable.
2. Estudiar las ventajas y desventajas de los diferentes modelos de viviendas prefabricadas, en función de su consideración como bienes inmuebles o bienes móviles.
3. Desarrollar estrategias de diseño y construcción que permitan a la empresa adaptarse a las necesidades de sus clientes y cumplir con la normativa legal vigente.
4. Establecer un plan de industrialización que optimice la producción de viviendas prefabricadas con contenedores, manteniendo la calidad y la sostenibilidad.
5. Analizar la relación entre diseño, construcción y lugar, con el fin de garantizar el cumplimiento normativo y facilitar la movilidad de las viviendas cuando sea necesario.

3. Metodología

Para abordar los objetivos planteados, se seguirá la siguiente metodología, esperando obtener un análisis detallado de las soluciones propuestas y un borrador de plan de industrialización que permita optimizar la producción de viviendas prefabricadas con contenedores y adaptarse a las necesidades y requisitos legales de su mercado objetivo:

1. Revisión de la legislación y normativa aplicable a las viviendas prefabricadas, identificando los aspectos legales relacionados con bienes inmuebles y bienes móviles, así como las implicaciones en términos de diseño, construcción y emplazamiento, y determinando las ventajas y desventajas de cada enfoque y su relación con las necesidades y expectativas de los clientes.
2. Análisis de los diferentes modelos de viviendas prefabricadas contemplados, identificando sus características principales y su adecuación a los requisitos legales y de diseño establecidos, y determinando sus ventajas y desventajas en términos de diseño, construcción y movilidad y su relación con las necesidades y expectativas de los clientes.
3. Desarrollo de estrategias y soluciones que permitan a la empresa adaptar sus diseños de viviendas y sus procesos constructivos para garantizar el cumplimiento de la normativa legal vigente y satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes, tanto en términos de calidad y funcionalidad como de movilidad y adaptabilidad a diferentes contextos.
4. Elaboración de un plan de industrialización que contemple la optimización de la producción de viviendas prefabricadas con contenedores, incluyendo prefabricación y montaje en campo, analizando los recursos y procesos necesarios para llevar a cabo la producción de manera eficiente y sostenible, y estableciendo indicadores de seguimiento y control que permitan evaluar y mejorar el desempeño.
5. Estudio de la relación entre diseño, construcción y terreno, con el fin de garantizar el cumplimiento de las normativas y facilitar la movilidad de las viviendas cuando sea necesario, considerando aspectos como la modulación, instalaciones, emplazamiento y ensamblaje, y estableciendo criterios y pautas para optimizar la integración de los diferentes componentes y garantizar la estabilidad y seguridad de las viviendas.

4. Resultados

La elaboración del proyecto ha de trabajar bajo las normas aplicadas que regulan los factores técnicos característicos de la vivienda a proyectar, según se trate de un bien inmueble o de un bien móvil. Este cuerpo normativo está principalmente formado por el CTE, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y las normas UNE complementarias. No obstante, una residencia móvil se rige por la norma UNE-EN 1647, dejando bastante libertad en cuanto a la resolución constructiva a la empresa fabricante. Por tanto, en el caso de declarar bien móvil una residencia modular, el dimensionamiento de las instalaciones puede servirse de las instrucciones técnicas de los reglamentos propios de la construcción, sin dejar de cumplir la norma UNE 1647. Este modo de operar presenta dos ventajas a la hora de proyectar una vivienda con contenedores; la primera es que, al tratarse de elementos de instalaciones convencionales, su obtención en el mercado es más ágil, rápida y segura; y la segunda es que, una vivienda declarada bien móvil, puede pasar a ser bien inmueble (por recalificación del terreno u otros criterios) sin modificar sus instalaciones, agilizándose su adecuación. A continuación, la Tabla 1 refleja una comparativa resumida de las normativas aplicadas para cada tipo de vivienda:

Tabla 1. Comparativa de normas aplicadas según tipo de vivienda.

Requisito	Bien inmueble	Bien móvil
Seguridad estructural	CTE SE	UNE 1647
Seguridad en caso de incendio	CTE SI	UNE 1647
Seguridad de utilización	CTE SUA	UNE 1647
Calidad interior del aire	CTE HS3	UNE 721
Suministro de agua	CTE HS4	UNE 1647
Evacuación de agua	CTE HS5	UNE 1647
Ahorro energético	CTE HE	-
Instalación eléctrica	REBT	HD 060364

A partir de la revisión del marco normativo, se elige la materia prima principal de cada intervención: el contenedor marítimo. Este suele ser usado para el transporte marítimo de mercancías durante un período de 7 a 14 años (Yap y Lam, 2013). A continuación, necesitaría ser remanufacturado, salvo que sea reciclado para servir de base para una construcción modular, prefabricada e industrializada de vivienda, lo que supone un ahorro energético de más del 50% (Dara et al., 2019). Por tanto, el proyecto aprovecha la oportunidad de mercado que se le presenta, ya que dejan de estar activos casi 3 millones de unidades al año (Islam et al., 2016).

Para seleccionar el tipo de contenedor a utilizar, es necesario conocer el fin al que va a ser destinado, así como la tipología de la vivienda a adecuar. De acuerdo con el CTE SUA, los espacios interiores de una vivienda tienen que tener una altura libre útil mínima de 2,1m (en zonas de circulación), 2,2 m (en espacios servidores) o 2,5 (en espacios servidos). Por el contrario, en el caso de ser declarada como bien móvil, estos espacios interiores no podrán tener una altura inferior a 1,98 m. Con estos requisitos, son 4 los contenedores potenciales que pueden utilizarse, como recopila la Tabla 2. Para viviendas tradicionales (bienes inmuebles), los modelos High Cube, de 20 y 40 pies, con una mayor altura de 30 centímetros, serán los elegidos. Para viviendas móviles, los modelos Dry Van, también de 20 y 40 pies, resultan suficientes. Una vez elegido el tipo, se definen una serie de unidades funcionales que, mediante su combinación, permita establecer una primera tipología de vivienda, que pueda ser construida tanto como bien inmueble como bien móvil.

Tabla 2. Características de los contenedores marítimos a utilizar en el proyecto.

Características	Dry Van 20'	High Cube 20'	Dry Van 40'	High Cube 40'
Peso vacío	2200 kg	2300 kg	3700 kg	3900 kg
Peso máximo	25300 kg	28300 kg	27600 kg	28600 kg
Largo interior	5900 mm	5900 mm	12030 mm	12030 mm
Largo exterior	6058 mm	6058 mm	12192 mm	12192 mm
Ancho interior	2345 mm	2345 mm	2345 mm	2345 mm
Ancho exterior	2438 mm	2438 mm	2438 mm	2438 mm
Alto interior	2400 mm	2710 mm	2400 mm	2710 mm
Alto exterior	2591 mm	2896 mm	2591 mm	2896 mm
Volumen interior	33,2 m ³	37,5 m ³	67,7 m ³	76,5 m ³

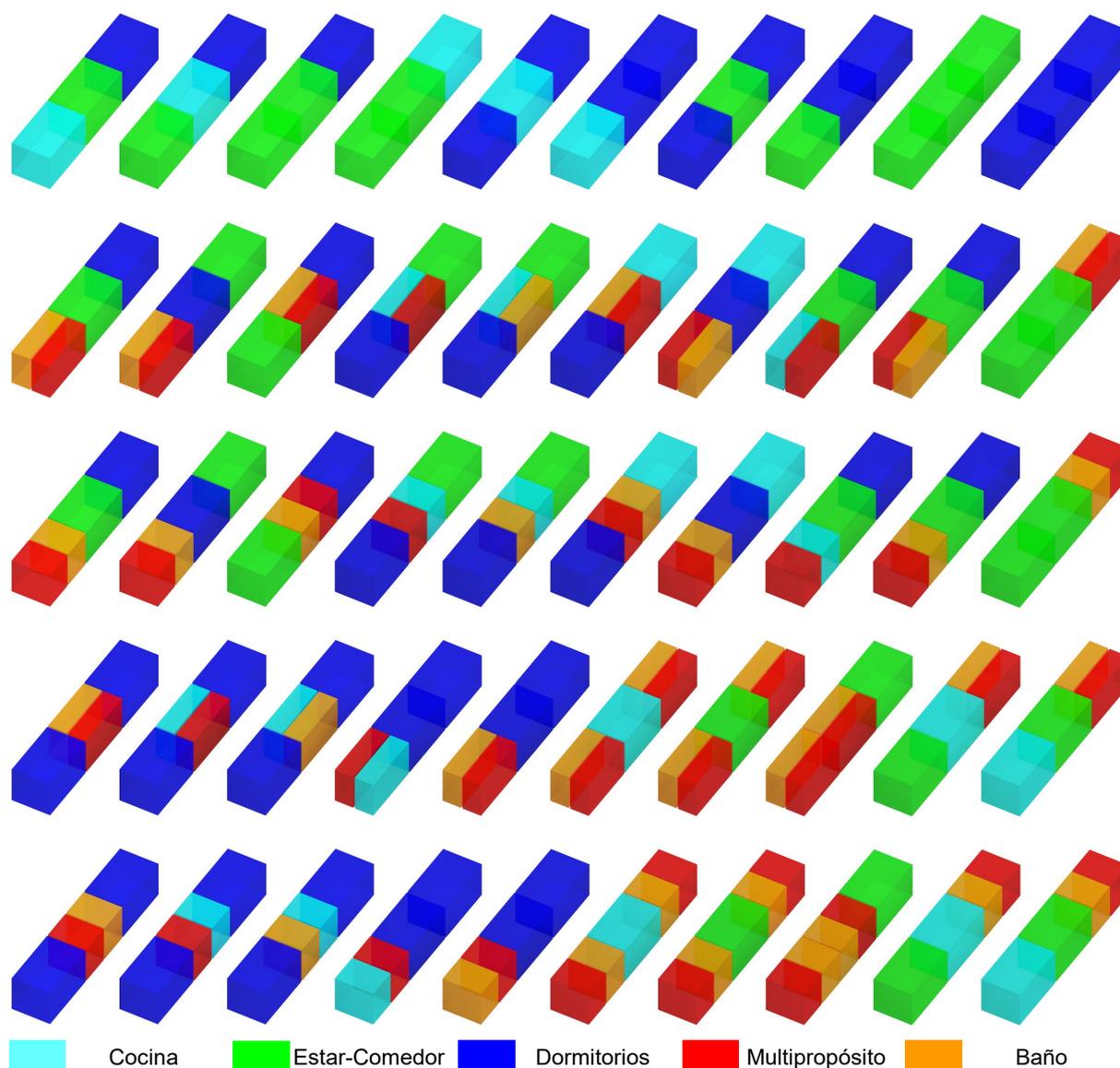
La Figura 1 muestra las dimensiones principales de los contenedores de 40 pies con los que empezar a diseñar los primeros prototipos de vivienda, a partir de la definición de sus unidades funcionales.

Figura 1: Dimensiones principales de un contenedor de 40 pies.



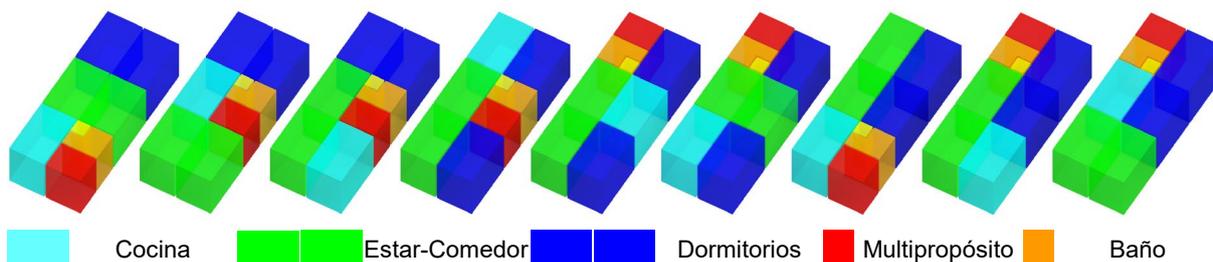
Las unidades funcionales que van a ser definidas son: estar, comedor, cocina, dormitorio, baño y espacio multipropósito (lavandería, almacenamiento, instalaciones, etc.). Tras estudiar las dimensiones en planta de los contenedores, se comprueba que la modularidad más polivalente resulta de dividir el contenedor de 40 pies en 3 partes iguales en sentido longitudinal (generando un espacio, virtual o real, de dimensiones interiores 2.33×3.93 m), como muestra la Figura 2.

Figura 2: Integración de unidades funcionales en un contenedor de 40 pies.



Una vez definidas unas unidades funcionales básicas, es necesario estudiar cómo pueden combinarse estas para formar soluciones diferentes. Para empezar, se comienza con la definición de tres viviendas tipo, según número de dormitorios, en 1, 2 o 3 contenedores. Por ejemplo, la Figura 3 sintetiza cómo pueden agruparse un par de contenedores de 40 pies para conformar una vivienda tipo con un programa estándar de estar-comedor, cocina, 2 dormitorios y baño. Las dimensiones se han optimizado para conseguir un módulo único (el espacio virtual o real de dimensiones interiores 2.33×3.93 m antes definido) que cumpla tanto con el CTE como la UNE 1647, en cuanto a seguridad (estructura e incendios), habitabilidad (salubridad, ahorro energético y protección acústica) y funcionalidad (uso).

Figura 3: Combinación de 2 contenedores de 40 pies para conformar una vivienda 2D.



La Figuras 5 (vivienda 1D), 6 (vivienda 2D) y 7 (vivienda 3D) muestran cómo pueden materializarse algunas de estas combinaciones, así como la Figura 8 muestra una sección longitudinal de las viviendas tipo. Cabe mencionar que una única modulación para atender a cada una de las unidades funcionales permite crear un sistema único. El sistema constructivo de paredes, techos y suelos está diseñado para estar libre de puentes térmicos, con un aislamiento que garantiza una eficiencia energética de clase A. Todo el sistema se ha diseñado para ser montado en seco, teniendo en cuenta la reutilización de los componentes tras su vida útil. Además, gracias a la estanqueidad de las aberturas, el sistema de ventilación mecánica y un sistema de aerotermia, también cumple los requisitos del estándar Passivhaus. Asimismo, la integración de un sistema fotovoltaico de autoconsumo con almacenamiento en baterías conectadas a la red garantiza que el edificio sea energéticamente positivo.

Figura 5: Distribución en planta de vivienda 1D a partir de 1 contenedor de 40 pies.

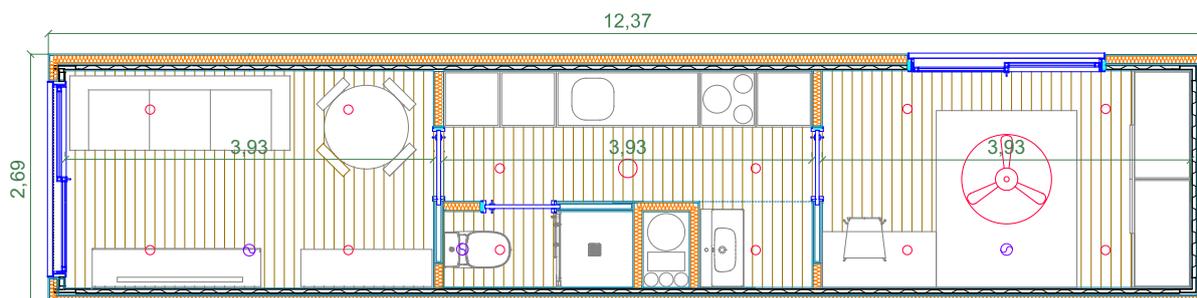


Figura 6: Distribución en planta de vivienda 2D a partir de 2 contenedores de 40 pies.

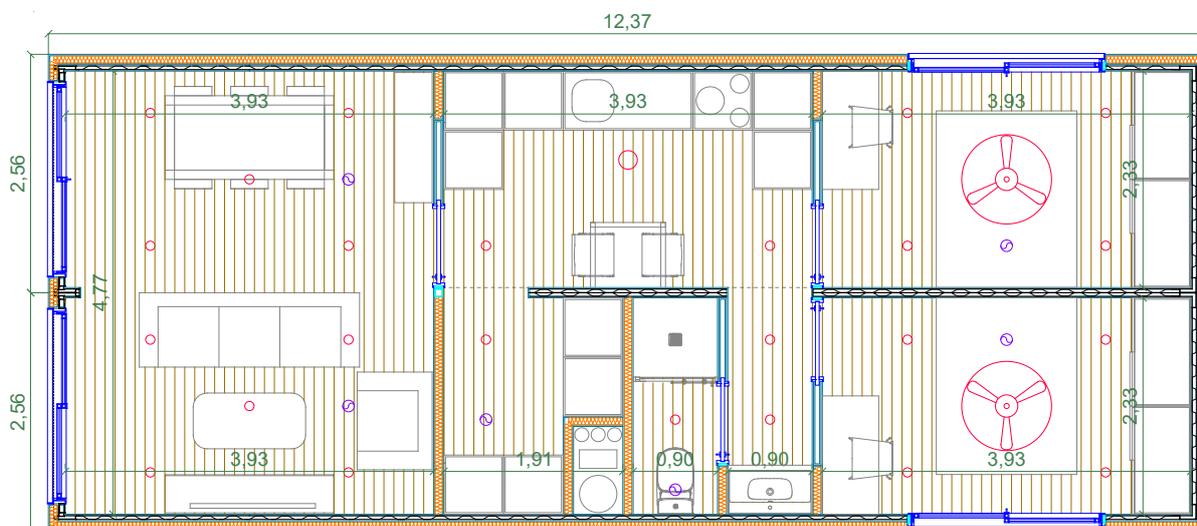


Figura 7: Distribución en planta de vivienda 3D a partir de 3 contenedores de 40 pies.

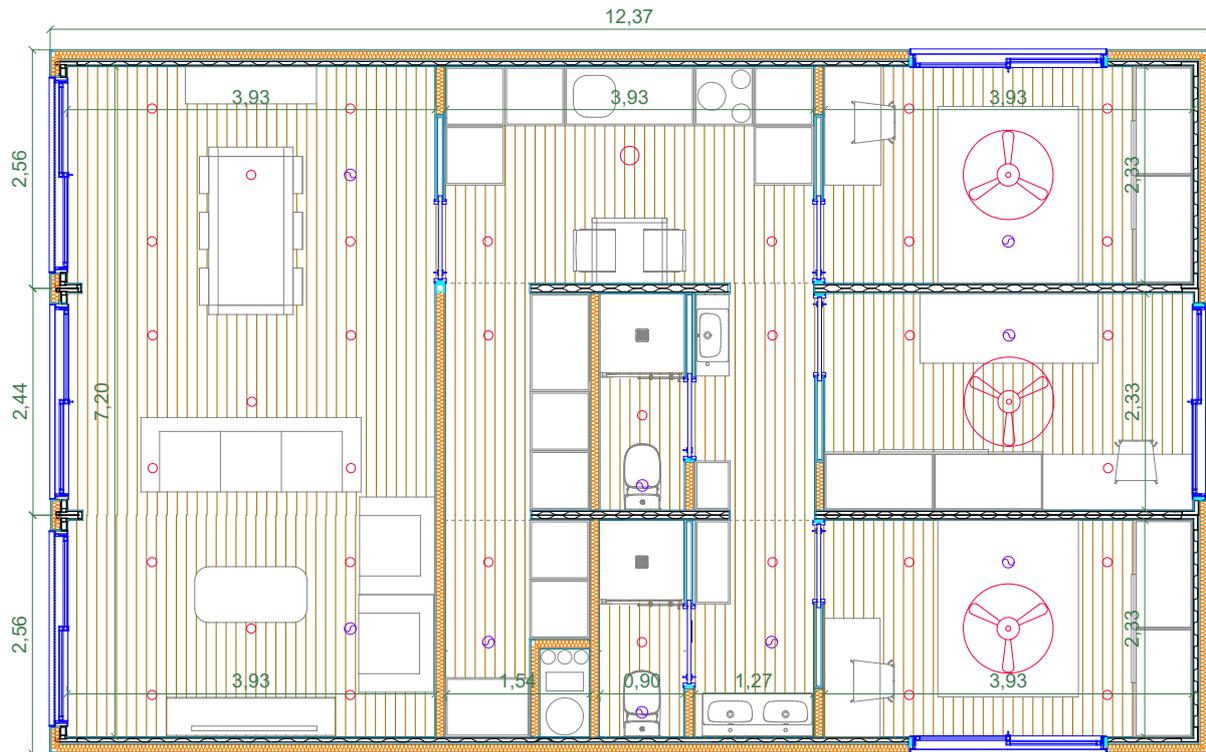
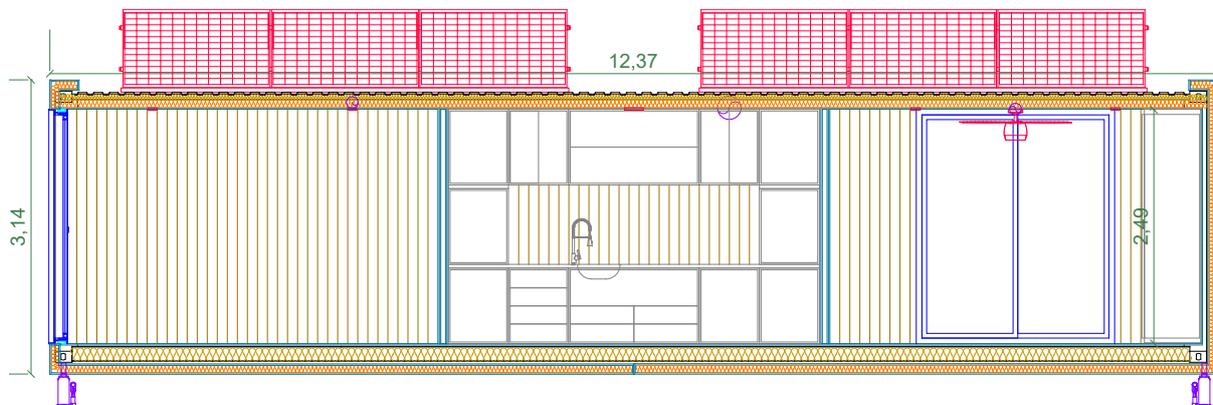


Figura 8: Sección longitudinal de vivienda tipo a partir de contenedores de 40 pies.



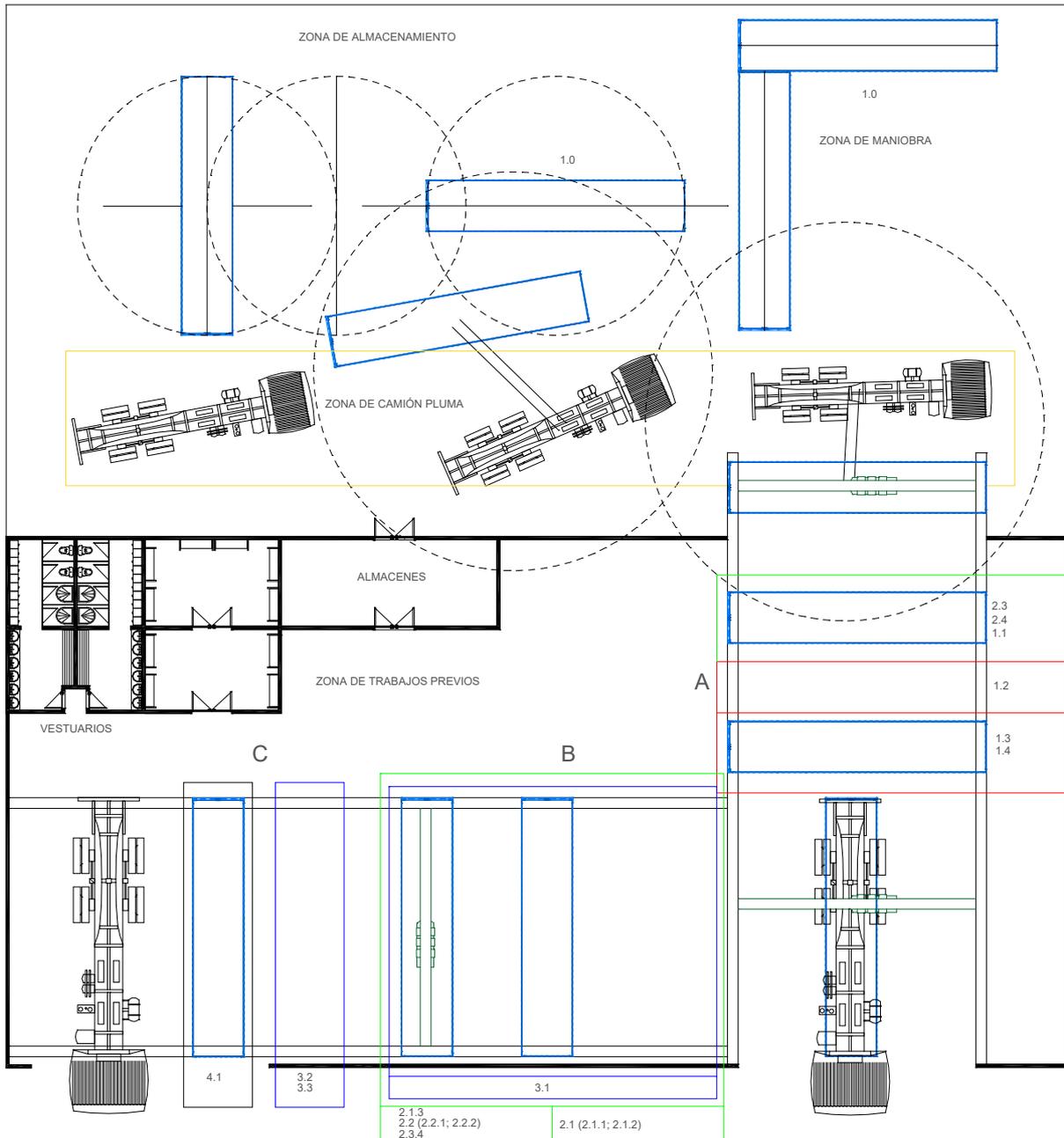
El desarrollo de un plan de industrialización sólido (exitoso) para fabricar viviendas (modulares) como las mostradas anteriormente, tanto como bienes inmuebles como bienes muebles en España, requiere que se analice el mercado, la demanda y las preferencias de los clientes, así como las tendencias en sostenibilidad, economía circular y transformación digital. Para su implantación, se requiere también de la obtención de los preceptivos permisos y licencias, tanto para los trabajos off-site como para los trabajos in-situ. No obstante, previamente deben evaluarse y seleccionarse tecnologías y métodos de construcción adecuados, implementando herramientas digitales (BIM, automatización...) e incorporando principios de diseño sostenible y eficiente. Además, tanto la integración de la economía circular como la formación del personal resultan también críticos, al igual que establecer alianzas con actores de la industria y desarrollar estrategias de venta efectivas para promocionar la propuesta de valor, para lo que se necesita una planificación financiera y de recursos sólida que incluya inversiones en tecnologías, formación y marketing.

Una vez realizadas estas consideraciones, a definir en trabajos de investigación posteriores, se procede a definir los medios, actividades y procesos de fabricación que pueden ejecutarse en planta a fin de minimizar las intervenciones en campo. Para realizar la planificación industrial de los procesos de fabricación, se ha elaborado un listado de actividades clasificadas que obedece al orden óptimo de la construcción, según las condiciones actuales de España. Las actividades pueden dividirse en 2 grandes grupos: en planta (off site): procesos 1 a 4 y a campo (in situ): procesos 5 a 9.

1. Acondicionamiento de fachada y cubierta.
 - 1.1. Soporte (refuerzo) estructural interior.
 - 1.2. Colocación de elementos aislantes.
 - 1.3. Instalación de ventanas y puertas.
 - 1.4. Tabiquería interior.
2. Instalación interior. Electricidad/Salubridad.
 - 2.1. Instalación eléctrica.
 - 2.1.1. Conexión desde CGP/CPM a cuadro principal.
 - 2.1.2. Cableado interior. Luminarias y tomas de corriente.
 - 2.1.3. Luminarias y enchufes.
 - 2.2. Calidad de aire interior
 - 2.2.1. Instalación de dispositivos de extracción mecánica.
 - 2.2.2. Instalación de rejillas.
 - 2.3. Abastecimiento de agua.
 - 2.3.1. Tuberías con conexión a red.
 - 2.3.2. Tuberías de calentador.
 - 2.3.3. Contador de agua adosado a fachada.
 - 2.3.4. Instalación de grifos y llaves de paso.
 - 2.4. Saneamiento.
3. Pinturas y acabados.
 - 3.1. Arquitectura seca.
 - 3.2. Aplicación de otros acabados.
 - 3.3. Pinturas.
4. Elementos de interior (cocina, baños, etc).
5. Acondicionamiento del terreno.
6. Emplazamiento de gatos y soportes.
7. Situación de arquetas y desagües sobre terreno, soportes o adosados.
8. Emplazamiento de contenedores.
 - 8.1. Situación sobre gatos y soportes.
 - 8.2. Conexión con arquetas y tuberías.
 - 8.3. Instalación de chapa base y escalera/rampa de acceso.
9. Instalación y conexión en espacio multipropósito.

La Figura 9 resume los procesos de fabricación y montaje en planta (1–4), en una parcela de 50×50 m ocupada al 50%: un patio trasero de 25×50 m dividido en 3 zonas (almacenamiento, distribución y maniobra/pre-montaje) y una factoría delantera de 25×50 m con 2 líneas de producción/montaje en L, divididas también en 3 zonas: (A) refuerzo estructural, aislamientos, carpinterías, tabiquerías e instalaciones de salubridad, (B) instalación eléctrica, calidad del aire y acabados, y (C) elementos de interior (cocinas, baños, armarios, mobiliario).

Figura 9: Planta industrial para la fabricación y montaje de viviendas a partir de contenedores.



5. Conclusiones

Este trabajo muestra la viabilidad técnica de utilizar contenedores marítimos para la construcción de viviendas modulares más sostenibles y más eficientes en España, adaptándose a las exigencias tanto de bienes inmuebles como de bienes móviles, lo que permite a las empresas disponer de nuevas posibilidades. En este contexto, el enfoque en la reutilización de contenedores marítimos representa una oportunidad de mercado significativa, contribuyendo a la sostenibilidad y ahorro energético (tanto en su fase de construcción como en su fase de uso) y atendiendo el crecimiento de la demanda de viviendas asequibles. Los diseños 1D, 2D y 3D propuestos como ejemplos (prototipos) cumplen con las normativas aplicables y permite alcanzar una eficiencia energética de clase A, al llegar a ser un edificio de consumo energético positivo.

La industrialización del producto permite incorporar transformación digital, eficiencia energética, sostenibilidad y economía circular, utilizando materiales reciclados y reciclables para una construcción modular prefabricada. El proceso de fabricación y montaje se lleva a cabo en entorno controlado con áreas específicas para cada etapa de producción, por lo que es de prever que se minimicen las intervenciones in situ, aumentando la eficiencia y calidad de la construcción. Los hallazgos indican que los modelos de vivienda seleccionado, basados en contenedores Dry Van y/o High Cube de 40 pies, ofrecen una solución modular, adaptable y escalable que permite a los propietarios personalizar sus viviendas según sus necesidades. Asimismo, la consideración de estas viviendas como bienes inmuebles o como bienes móviles permite a los propietarios trasladar sus viviendas en caso de necesidad o cambio de circunstancias, lo que contribuye a la sostenibilidad en el largo plazo. Además, el uso de tecnologías y métodos de construcción innovadores, como el BIM y la automatización, permiten a estas viviendas reducir su impacto ambiental.

En resumen, el desarrollo de viviendas sostenibles, eficientes y modulares basadas en contenedores marítimos ofrece una solución atractiva y viable que puede ajustarse a las necesidades cambiantes de los propietarios y contribuir a un futuro más sostenible, impactando positivamente tanto al medio ambiente como a los futuros habitantes de estas viviendas. No obstante, la competitividad y el éxito de este enfoque innovador en la construcción de viviendas dependen de que el mercado adopte como principio fundamental la transformación digital y establezca alianzas y colaboraciones entre empresas, organizaciones, administraciones y universidades. Asimismo, a pesar de que los resultados son prometedores, algunas limitaciones deben considerarse. Por ejemplo, la adaptabilidad de los contenedores marítimos a diferentes climas y terrenos en el largo plazo aún debe ser investigada a fondo. Además, las preferencias de los propietarios pueden cambiar con el tiempo, por lo que los sistemas deben ser lo suficientemente versátiles como para satisfacer nuevas demandas y tendencias. En este sentido, la percepción del público en relación con la aceptación de las viviendas construidas a partir de contenedores marítimos debe trabajarse, para mitigar los prejuicios, evitando la falta de información.

Las líneas futuras de trabajo en esta misma línea incluyen desarrollar nuevas soluciones de aislamiento térmico y acústico para mejorar aún más la habitabilidad y comodidad de las viviendas basadas en contenedores, así como integrar sistemas de gestión del agua y residuos de manera sostenible y eficiente. Además, queda pendiente analizar la viabilidad de aplicar este modelo de construcción en otros tipos de edificaciones, como oficinas, espacios comerciales o instalaciones educativas, ampliando así el alcance y el impacto de esta solución sostenible y modular en el sector de la construcción en general. Por último, se podrían realizar estudios de ciclo de vida comparativos entre viviendas basadas en contenedores marítimos y otros métodos de construcción sostenible y eficiente, para evaluar su rendimiento y rentabilidad en el largo plazo, así como para identificar áreas de mejora y oportunidades de innovación en el diseño y construcción de viviendas basadas en contenedores marítimos.

6. Referencias

- AbuMoeilak, L. S., y Taleb, H. (2018). Climate Responsive Container Design for Sustainable Dwellings. En *ISBS 2017: Proceedings of 3rd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2017)* (Vol. 6, pp. 397-412). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63709-9_32
- Araya, F. (2022). Modeling the influence of multiskilled construction workers in the context of the covid-19 pandemic using an agent-based approach. *Revista de la construcción*, 21(1), 105-117. <https://doi.org/10.7764/RDLC.21.1.105>
- Asociación Española de Normalización. (2019). *UNE-EN 1647:2019. Vehículos habitables de recreo. Residencias móviles. Requisitos de habitabilidad relativos a la salud y a la seguridad*. Asociación Española de Normalización.
- Azis, A. A. A., Memon, A. H., Rahman, I. A., Nagapan, S., y Latif, Q. B. A. I. (2012). Challenges Faced by Construction Industry in Accomplishing Sustainability Goals. *Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications*, 630-634. <https://doi.org/10.1109/ISBEIA.2012.6422966>
- Baghchesaraei, O. R., Lavasani, H. H., y Baghchesaraei, A. (2016). Behavior of Prefabricated Structures in Developed and Developing Countries. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 1229-1234. <https://doi.org/10.25518/0037-9565.5997>
- Benachio, G. L. F., Duarte, M. do C., y Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121046. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>
- Bertolini, M., y Guardigli, L. (2020). Upcycling shipping containers as building components: an environmental impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(6), 947-963. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01747-3>
- Buitelaar, E., y Segeren, A. (2011). Urban Structures and Land. The Morphological Effects of Dealing with Property Rights. *Housing Studies*, 26(5), 661-679. <https://doi.org/10.1080/02673037.2011.581909>
- Caldera, A., y Johansson, Å. (2013). The price responsiveness of housing supply in OECD countries. *Journal of Housing Economics*, 22(3), 231-249. <https://doi.org/10.1016/j.jhe.2013.05.002>
- Cerezo, A., Pastor, A., Otero, M., y Ballesteros, P. (2021). The Relationship between Building Agents in the Context of Integrated Project Management: A Prospective Analysis. *Buildings*, 11(5), 184. <https://doi.org/10.3390/buildings11050184>
- Chiang, Y. H., Tao, L., y Wong, F. K. W. (2015). Causal Relationship between Construction Activities, Employment and GDP: The Case of Hong Kong. *Habitat International*, 46, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.10.016>
- Choi, J., y Cho, T. (2014). Comparing Perception Concerning the Importance of Apartment Complex Components Between Consumers and Housing Providers. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 13(1), 109-116. <https://doi.org/10.3130/jaabe.13.109>
- Choma, H., y Kgarabjang, T. (2016). Risk and opportunities connected to the credit legislation on movable property: A case study. *Risk Governance and Control: Financial Markets and Institutions*, 6(4), 151-154. <https://doi.org/10.22495/rcgv6i4c1art5>
- Choy, C. F. (2011). Revisiting the «Bon Curve». *Construction Management and Economics*, 29(7), 695-712. <https://doi.org/10.1080/01446193.2011.578959>

- Dara, C., Hachem-Vermette, C., y Assefa, G. (2019). Life cycle assessment and life cycle costing of container-based single-family housing in Canada: A case study. *Building and Environment*, 163, 106332. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106332>
- Escavy, J. I., Herrero, M. J., Trigos, L., y Sanz, E. (2020). Demographic vs Economic Variables in the Modelling and Forecasting of the Demand of Aggregates: The Case of the Spanish Market (1995–2016). *Resources Policy*, 65, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101537>
- European Environment Agency. (2020). *The European Environment — State and Outlook 2020. Knowledge for Transition to a Sustainable Europe*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2800/96749>
- Fuentes, J. L., y González, C. (2013). Analysis of the Spanish Construction Sector from its Main Economic Values. *17th International Congress on Project Management and Engineering*, 434-446.
- Gandhi, P., Khanna, S., y Ramaswamy, S. (2016). Which Industries Are the Most Digital (and Why)? *Harvard Business Review*, 45-48.
- Ganiyu, B. O., Fapohunda, J. A., y Haldenwang, R. (2015). Construction approaches to enhance sustainability in affordable housing in developing countries. *2015 World Congress on Sustainable Technologies (WCST)*, 101-107. <https://doi.org/10.1109/WCST.2015.7415129>
- Government of Spain. (1999). Law 38/99 on Building Management. *Spanish Official Gazette*, 266, 38925-38934.
- Government of Spain. (2006). Royal Decree 314/2006 on the Technical Building Code. *Official State Gazette*, 74, 11816-11831.
- Hussin, J. M., Rahman, I. A., y Memon, A. H. (2013). The Way Forward in Sustainable Construction: Issues and Challenges. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 2(1), 31-42. <https://doi.org/10.11591/ijaas.v2i1.1321>
- Idealista. (2021). *Radiografía del parque inmobiliario español: una vivienda de 45 años con un certificado energético E*.
- Islam, H., Zhang, G., Setunge, S., y Bhuiyan, M. A. (2016). Life cycle assessment of shipping container home: A sustainable construction. *Energy and Buildings*, 128, 673-685. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.002>
- Jaillon, L., y Poon, C. S. (2008). Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: a Hong Kong case study. *Construction Management and Economics*, 26(9), 953-966. <https://doi.org/10.1080/01446190802259043>
- Johnston, M., Guaralda, M., y Sawang, S. (2014). Sustainable Innovation for Queensland's Housing Design: a Case Study. *Construction Economics and Building*, 14(4), 11-31. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v14i4.4146>
- Kirschke, P., y Sietko, D. (2021). The Function and Potential of Innovative Reinforced Concrete Prefabrication Technologies in Achieving Residential Construction Goals in Germany and Poland. *Buildings*, 11(11), 533. <https://doi.org/10.3390/buildings11110533>
- KPMG International. (2015). Climbing the Curve. En *Global Construction Project Owner's Survey*. KPMG.
- Liu, Z., y Ying, H. (2009). Prefabrication Construction in Residential Building of Vanke Real Estate Company China. *2009 International Conference on Management and Service Science*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2009.5304767>

- Luo, T., Xue, X., Tan, Y., Wang, Y., y Zhang, Y. (2021). Exploring a Body of Knowledge for Promoting the Sustainable Transition to Prefabricated Construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(9), 2637-2666.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2020-0154>
- Madkour, M. (2017). Shipping Containers as an Approach to Increase the Quality of Economic Sustainable Buildings in Egypt. *SSRN Electronic Journal*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3171827>
- Maskuriy, R., Selamat, A., Ali, K. N., Maresova, P., y Krejcar, O. (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry? *Applied Sciences*, 9(14), 2819.
<https://doi.org/10.3390/app9142819>
- Minunno, R., O'Grady, T., Morrison, G., Gruner, R., y Colling, M. (2018). Strategies for Applying the Circular Economy to Prefabricated Buildings. *Buildings*, 8(9), 125.
<https://doi.org/10.3390/buildings8090125>
- Molavi, J., y Barral, D. L. (2016). A Construction Procurement Method to Achieve Sustainability in Modular Construction. *Procedia Engineering*, 145, 1362-1369.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.201>
- Mun, Y.-A., Kim, M.-K., y Park, M.-J. (2013). Domestic and Foreign Case Studies for the Improvement of Unit Modular Housing. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 29(10), 65-73.
https://doi.org/https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2013.29.10.65
- Ovando, G., Lauret, B., Pérez-Pujazón, B., y Castañeda, E. (2016). Lightweight Modular Construction with Three-Dimensional Modules, Background and State of the Art. *XXX Research Conference and XII Regional Meeting Configurations, Actions and Stories*, 1-13.
- Pirinen, A., y Tervo, A. (2020). What can we share? A design game for developing the shared spaces in housing. *Design Studies*, 69, 100941.
<https://doi.org/10.1016/j.destud.2020.04.001>
- Porras-Amores, C., Martín-García, P., Villoria-Sáez, P., del Río-Merino, M., y Vitiello, V. (2021). Assessing the Energy Efficiency Potential of Recycled Materials with Construction and Demolition Waste: A Spanish Case Study. *Applied Sciences*, 11(17), 7809. <https://doi.org/10.3390/app11177809>
- Sljivic, A., Salihbegovic, A., y Miljanovic, S. (2021). Container Architecture in the context of Sustainable Construction of Residential Facilities in Bosnia and Herzegovina. *International Journal of Advanced Research*, 9(01), 743-753.
<https://doi.org/10.21474/IJAR01/12351>
- Uppink, L., y Soshkin, M. (2019). *The Travel and Tourism Competitiveness Report 2019*. World Economic Forum.
- Viana, D., Tommelein, I., y Formoso, C. (2017). Using Modularity to Reduce Complexity of Industrialized Building Systems for Mass Customization. *Energies*, 10(10), 1622.
<https://doi.org/10.3390/en10101622>
- Xu, Z., Zayed, T., y Niu, Y. (2020). Comparative Analysis of Modular Construction Practices in Mainland China, Hong Kong and Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118861. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118861>
- Xue, X., Zhang, X., Wang, L., Skitmore, M., y Wang, Q. (2018). Analyzing collaborative relationships among industrialized construction technology innovation organizations: A combined SNA and SEM approach. *Journal of Cleaner Production*, 173, 265-277.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.009>

Yang, X., Wu, D., y Zheng, Z. (2022). Research on the Relationship between Construction 4.0 and Construction Firm's Performance: Based on the Mediating Role of Technological Innovation Capability. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2022/8523480>

Yap, W. Y., y Lam, J. S. L. (2013). 80 million-twenty-foot-equivalent-unit container port? Sustainability issues in port and coastal development. *Ocean & Coastal Management*, 71, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.10.011>

Zavodovski, A., Mohan, N., Bayhan, S., Wong, W., y Kangasharju, J. (2018). ICON: Intelligent Container Overlays. *Proceedings of the 17th ACM Workshop on Hot Topics in Networks*, 15-21. <https://doi.org/10.1145/3286062.3286065>

Zhang, G., Setunge, S., y van Elmpt, S. (2014). Using Shipping Containers to Provide Temporary Housing in Post-disaster Recovery: Social Case Studies. *Procedia Economics and Finance*, 18, 618-625. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00983-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00983-6)

Communication aligned with the Sustainable Development Objectives

